

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-211040

(43)Date of publication of application : 13.09.1991

(51)Int.Cl.

B29C 67/00
// B29C 35/08
B29K105:24

(21)Application number : 02-291647

(71)Applicant : THREE D SYST INC

(22)Date of filing : 29.10.1990

(72)Inventor : SPENCE STUART T
SMALLEY DENNIS R

(30)Priority

Priority number : 89 429911 Priority date : 27.10.1989 Priority country : US

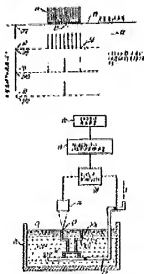
(54) SYSTEM FOR DUPLICATING THREE-DIMENSIONAL MATTER BY STEROLITHOGRAPHY USING VARIOUS PENETRATION DEPTHS AND BEAM PROFILE

(57)Abstract:

PURPOSE: To use a plurality of penetration depths independently or in simultaneous combination corresponding to conditions by providing a stimulating radiation source simultaneously containing at least two kinds of separate wavelengths having different penetration depths into a curable material and a platform control device for regulating the height of a platform.

CONSTITUTION: A light source consists of several different light sources actually and each of the light sources generates a single or a plurality of stimulating radiation wavelengths. Stimulating radiations of different wavelengths generate different penetration depth values in a generally given photopolymer 22. Two kinds or more wavelengths are simultaneously used in order to solidify a resin or stimulating radiations of two or more kinds of wavelengths are used but, in a solidifying process, only one wavelength is used at a time and respective wavelengths are absorbed at the given depth of an imaginary photopolymerization initiator having different

penetration depths into a resin to be used. A photopolymer mainly comprises various monomers generally and contains a photopolymerization initiator or other various components.



⑪ 公開特許公報(A) 平3-211040

⑫ Int. Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成3年(1991)9月13日

B 29 C 67/00
B 29 C 35/08
B 29 K 105/24

8115-4F
8415-4F

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全50頁)

⑭ 発明の名称 種々の透過深さとビームプロファイルを使用する立体平板技術によ
つて三次元物体を複製するシステム

⑮ 特 願 平2-291847

⑯ 出 願 平2(1990)10月29日

優先権主張 ⑰ 1989年10月27日 ⑱ 米国(US) ⑲ 429911

⑳ 発 明 者 スチュアート、トーマス アメリカ合衆国カリフォルニア州、サウス、バサデナ、グ
ラス、スベンス ランド、アベニユ、333
㉑ 発 明 者 デニス、ロレット、ス アメリカ合衆国カリフォルニア州、ボールドウィン、パー
モアリー ク、ロサンゼルス、ストリート、14131
㉒ 出 願 人 スリーディー、システ アメリカ合衆国カリフォルニア州、バレンシア、アベニ
ムズ、インコーポレー ュ、ホール、26081
テツド
㉓ 代 理 人 弁理士 佐藤 一雄 外3名

明 細 書

発明の詳細な説明

【産業上の利用分野】

発明の名称 種々の透過深さとビームプロファイ
ルを使用する立体平板技術によって三次元物体を
複製するシステム

本発明は一般に、三次元物体を複製するための
立体平板技術およびそのシステムに関するもので
ある。

【従来技術と問題点】

特許請求の範囲

1. 刺激性放射線を照射して前記の刺激性放射
線に対応して硬化する順次の材料層を形成する事
によって三次元物体を複製する立体平板装置にお
いて、

硬化性材料中への相異なる透過深さを有する少
なくとも2種の別個の波長を同時に含む刺激性
放射線と、

前記三次元物体の第1層に固着するプラットフォームと、

前記プラットフォームの高さを調節するための
プラットフォーム制御装置とを含む事特徴とす
る立体平板装置。

近年、米国特許第4,575,330号に記載のような「
立体平板」システムが使用されるようになった。

基本的に、立体平板技術は、硬化性液体媒質の
複数の薄層を逐次刺激に露出して順次に面化する
事によって複雑な三次元物体を自動的に形成する
方法である。全ての薄層が形成されて物体全体を
形成するまで、順次に各層の上に次の層が形成さ
れる(このようにして形成された物体はしばしば
「部品」と呼ばれる)。好ましい実施態様におい
て、前記の液体媒質はUV放射線に露出する事によ
って重合固化される液状光重合体である。それ
ぞれの重合された層は所望の三次元部品の薄い断
面を成す。この作製方法は、原型を形成するため
に設計思想を迅速に物理的形状に還元するきわめ

で強力な手段である。さらに機械加工なしで複雑な三次元部品が迅速に作製される。このシステムはパタンの断面を生じるためにコンピュータを使用するので、容易にCAD/CAMシステムに接続される。

現在、好ましい重合体は紫外線によって硬化され、通常の紫外線を使用してこれらの重合体の硬化速度は十分に迅速であるので、これらの重合体は適当な形成材料として使用される。三次元部品の形成に照して重合されない液体は、なお使用可能であって、次の三次元部品の形成のために容器中に残存する。紫外線レーザは、液体面に沿って検測計またはサーボミラー—XYスキャンナーによって所定パターンで移動される小さな強力なUVスポットを形成する。スキャンナーはコンピュータ発生ベクトルまたは類似のものによって駆動される。この技術によって精密な複雑なパターンが形成される。

好ましい立体平板システムは、レーザスキャンナーと、重合性液体および上下運動される物体文

持プラットフォームを収容した容器と、制御コンピュータを含む。このシステムは、1回に1つの薄い断面を形成し層ごとに所望の三次元物体を形成する事によってプラスチック部品を形成するようにプログラミングされている。

初期の立体平板技術装置においては、液体媒質を固化するために化学線が使用された。この技術は前記の米国特許第4,575,330号に記載されている。この引例特許において、液体媒質の化学線吸収能力が凝縮性材料の薄層を形成するための固化能力の確定の重要な要因であるという教示がある。しかしこの引例特許は、固化材料の所望の特性を予測する方法、技術および装置を開示せず、またこのような特性を制御する方法と技術を開示していない。本発明のこのアスペクトを開示していない他の技術はE.V.Pudinによって開示されている。この技術は米国特許第4,752,498号および第4,801,477号、Mechanical Engineeringの1985年9月号の論文、"A New Method of Three-Dimensional Micromachining" およびMachine Design 1988年3月

-3-

号の論文、"Sculpting Parts with Light"を含む。これらの引例のうち、最も興味あるものは論文、"Sculpting Parts with Light"である。この論文において、Pudinはペールの法則と透過係数の使用を記述している。また著者はペールの法則から誘導された少数ウェブの式を使用している。しかし著者は従前の技術と同様の失敗をしている。著者は、硬化深さの予測と他の関連硬化パラメータの正確な予測を成すために各波長のそれぞれ透過深さまたはビームプロファイル層の有効性を記述していない。このような失敗は、著者がマスクによるフラッド露出の使用を強調した事と関連がある。前記の2つのアプローチより前の他のアプローチは、Applied Photographic EngineeringのHerbert論文、"Solid Object Generation" (1982年8月)に開示されている。この論文において、Herbertはその材料を露出に固化するためおそらくは単一波長のレーザの使用を記載しているようだ。Herbertは波長の吸収性と薄層形成力との関係を説明していない。この点に関し

-4-

て、Herbertはむしろ光漂白された液状重合体の使用を推奨したが、これは予測・制御可能な結果を得る事をさらに困難にする。光漂白とは、樹脂および部分的に固化した材料が逐次に放射線量を吸収するに従って化学線の吸収能力を失う事を意味する。例えば光重合開始剤の副生成物は吸光的なものでなく強力に吸収しない。Herbertが記載したように、その重合した材料は完全に吸収を停止し、その低吸収をビームの全光強さに対して露出した。Herbertは層間の接着に必要な硬化深さおよびオーバー効果などの効果パラメータを決定するため、テスト物体の形成を記載している。

他の先行アプローチは、"Review of Scientific Instruments"の1981年9月号のコダマ論文、"Automatic Method for Fabricating a Three-Dimensional Plastic Model with Photo-hardening Polymer"に記載されている。この論文においてコダマは化学線源の使用を記載し、また硬化深さ・露出曲線のプロットを示している。Herbertと同様にコダマは吸収、凝縮性および薄層形成能

力の相互関係を明示していない。

これらのすべてのアプローチは、所望の三次元部品を作成するたびに、複数のテスト三次元部品を作成して硬化深さ：露出パラメータおよびその他の必要な特性を確定する必要があるという欠点がある。これは特に多重波長源を使用する場合にいえる事である。カルホルニア、バレンシア、3D Systems, Inc.によるこの技術の最初の販路は、さらに正確な三次元部品およびさらに強い三次元部品を迅速に作成する技術の開発が当業界においてますます必要とされている。これらの問題を解決する技術がなければ、この技術のこれ以上の開発を禁止する事になった。本発明の技術はこれらの問題を解決し、より高い解像力と、より高い精度と、短い形成時間と、より大きな効率と、より高い物理特性とを有し、従って形成工程において作業者の負担を少なくする三次元部品の形成を可能にする。

化学線の吸収に伴って多くの硬化性材料はベールの法則に厳密に従う。この法則によれば、材料

中の一定の深さ（ d ）における放射線の強さ（ I ）は材料表面の光強さ $I_0 \times$ 自然対数の底（ e ）の深さ（ d ）割る材料の透過深さ（ D_p ）の乗算に等しい。これは下記の式で表される。

$$I(d) = I_0 / e^{d/D_p}$$

透過深さは材料の放射線吸収係数に逆比例する。前記の引例技術に使用された光重合体と、その他多くの光重合体の場合、透過深さは波長に依存する。これらの引例技術は、種々の正味透過深さに適する樹脂と波長の組合せを使用している。これらの引例のすべての三次元部品形成は、種々の透過深さの重ね合わせではなく意味透過深さの概念に基づいている。しかしこれらの引例は部分的に固化した重合体から異なる特性を得るために種々の波長の透過深さを利用できる事を示していない。また引例は、特定の化学線波長を使用するば、特定の層厚さを使用して三次元部品を形成するために与えられた樹脂の透過深さを最適化できる事を示していない。また、多重波長を効果的に使用するためには各波長の透過深さを考慮しなけ

-7-

ればならない事を明示していない。いずれの引例も、立体平板技術によって積層三次元部品を形成する際に複数の透過深さを考慮する事を提案していない。この意味で、本発明の多面的考察と異なり、従来は透過深さと材料の固化能力を使用する事のみが考慮されていた。

最初の市販の立体平板装置は、単一の化学線波長と対応の樹脂を使用し、特定の層厚さに使用するために適した特性を有する波長と硬化性樹脂の組合せを用いた。従ってこのアプローチは未だ透過深さと、凝集特性と硬化深さとの組合せのみを考慮していた。

まとめて言えば、従来の立体平板装置（SLA）装置においては、刺激性放射線と光重合体樹脂との組合せは、硬化性樹脂の中への放射線の透過深さのみを考慮し、利用していた。しかし理想的な透過深さ以下に詳細に述べるように場合によって変化する。従って、SLAの作動に照しては複数の透過深さを状況に応じてそれぞれ単独にまたは同時に組合せて使用できる事が望ましいであ

-8-

ろうし、これが本発明の主たる目的を成す。

他のすべての条件を同一として三次元部品の各層が与えられた層厚さに対してできるだけ迅速に形成されるためには大きな透過深さが好ましいであろう。しかし他のすべての条件は同等でない。このような主張は、透過深さが深いほど、所望量の放射線刺激線が迅速に所定の点に到達してこれを固化し、従って最短時間で硬化材料の最も薄い厚さを生じるという事を仮定している。樹脂中の特定の点に到達する放射線の量が大きいほど透過深さが深くなるというこの仮定の一部は正確である。しかしこの仮定はその点以外は正確でない。なぜなら、材料の固化（ゲル化）点は単位体積に到達した光の量ではなく、その単位体積によって吸収された所望の固化反応を生じうる光の量に基づいているからである。波状光重合体の場合、これは、樹脂中の光反応性阻害（一般に光重合開始剤）による刺激性放射線の単位体積当り吸収量と、放射線/開始剤の重合体形成効率とに対応している。粉末を溶解し、つぎに形成された液体を

再び固化して真に固化した三次元部品を形成する反応の場合、これは特定の時点において与えられた体積の中に生じた正味のエネルギー（単位体積中のエネルギー入力）をこの単位体積から出るエネルギーに対応し、これは吸収量であるから波長に依存する。従って材料を特定深さまでゲル化するのに最小時間を必要とする特定の透過深さが存在する。これ以外の透過深さ（波長、照射その他のパラメータに依存）はゲル化のためにゲル化の時間が長くなる。しかし作図速度はこれらの技術の目的に含まれる唯一の評価基準ではない。光重合体の場合、例えばゲル化した材料の硬さ、歪の量、および与えられた区域における過剰露出の効果をも考慮しなければならない。従って透過深さが本発明によって最適化されて、種々の矛盾する要因に折衝し最も望ましい正味結果を生じるであろう。これらの原因の支配は場合によって変動する。また数種類の要因が存在する。

従来の S L A は前記のような考えから複数の透過深さを使用したもので、二、三の問題が生じた。

-11-

となるからである。しかしこの第 2 アプローチは労力と時間を要する。最近、多重ラインを放射する強力なアルゴンイオンレーザを使用する事ができるので、このようなレーザを S L A において使用する事が望ましい。

三次元部品の曲げが S L A の使用に際して生じるもう 1 つの問題である。この曲げは光重合体が効果に際して収縮するがゆえに、発生する。上層が効果し収縮するに従って、上層が前の層を引き上げて、曲げと呼ばれる歪を生じる。これは三次元部品の形状を歪ませて所望の形状と一致しなくなるので、好ましくない。このような歪を最小限にする S L A がきわめて望ましい。この型の歪は米国特許第 330,246 号に詳細に記載されている。

立体平板技術のさらに詳細な説明については、米国特許第 4,575,330 号および下記の同時係属米国特許を参照されたい。これらの特許をその付録および添付資料と共に引例とする。

米国特許第 339,240 号、1989 年 4 月 17 日出願。
"STEREOLITHOGRAPHIC CURL REDUCTION"; Dkt.

例えば、一部のレーザは多重波長または複数ラインを有するので、高解像度立体平板を作製する際に最大効率をもってこれらの波長を使用するためには特殊の考慮が必要となる。このような特殊考慮が払われなければ、このようなレーザを使用する方法が限定される。すなわち 1) 異なる波長は一般に異なる透過深さを有するので、S L A 中に使用される波長以外のすべての波長をビームから遮蔽するフィルタを使用する、2) システムを使用するたびに、光重合体/ビーム組合わせの形成特性を確定するためにテスト用三次元部品を形成する。しかし前記の第 1 アプローチは光の一部が使用されないで、レーザ出力を浪費する。従ってこのような出力の浪費を避けて S L A 性能を犠牲にしない事が望ましいであろう。現在の S L A の使用条件においては、出力の浪費はきわめてコスト高になる。第 2 のアプローチは、形成特性を確定するために必要である。多重レーザは各ラインの出力損失が相違するので、全体光強さのみを考慮すれば複数ラインによる効果は予測不能

-12-

No.186/168:

- 米国特許第 331,864 号、1988、三月 31 日出願。
"METHOD AND APPARATUS FOR PRODUCTION OF HIGH RESOLUTION THREE-DIMENSIONAL OBJECT BY STEREOLITHOGRAPHY";
- 米国特許第 163,015 号、1988、四月 18 日出願。
"METHOD AND APPARATUS FOR PRODUCTION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BY STEREOLITHOGRAPHY";
- 米国特許第 268,429 号、1988、十一月 8 日出願。
"METHOD FOR CURING PARTIALLY POLYMERIZED PARTS";
- 米国特許第 268,428 号、1988、十一月 8 日出願。
"METHOD FOR FINISHING PARTIALLY POLYMERIZED PARTS";
- 米国特許第 268,408 号、1988、十一月 8 日出願。
"METHOD FOR DRAINING PARTIALLY POLYMERIZED PARTS";
- 米国特許第 268,810 号、1988、十一月 8 日出願。
"APPARATUS AND METHOD FOR PROFILING A

BEAM";

米国特許第268,007号、1988. 11月8日出願。
"APPARATUS AND METHOD FOR CORRECTING FOR
DRIFT IN PRODUCTION OF OBJECTS BY
STEREOLITHOGRAPHY";

米国特許第268,637号、1988. 11月8日出願。
"APPARATUS AND METHOD FOR CALIBRATING
AND NORMALIZING A STEREOLITHOGRAPHIC
APPARATUS";

米国特許第365,399号、1988. 9月、28日出願。
"METHOD AND APPARATUS FOR PRODUCTION OF
THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BY STEREO-
LITHOGRAPHY";

米国特許第365,444号、1988. 6月、12日出願。
"INTEGRATED STEREOLITHOGRAPHY";

米国特許第265,039号、1988. 10月31日出願。
"APPARATUS AND METHOD FOR MEASURING AND
CONTROLLING THE LEVEL OF A FLUID";および
米国特許第289,801号、1989. 3月31日出願。
"METHOD AND APPARATUS FOR PRODUCTION OF

HIGH DIMENSIONAL OBJECTS BY STEREOLITHO-
GRAPHY";

[発明の概要]

簡単に言えば、本発明は一般に効果性材料から三次元部品の形成する改良型立体平板装置 (SLA) および改良法を提供する。さらに詳しくは本発明は、三次元部品の形成の得よう望みの特性を決定しおよび/または制御しおよび/または生じるため、光重合体容器中への刺激性 (化学作用または溶融作用) 放射線 (紫外線、可視紫外線、電子ビーム、または化学的スプレーなど) の多重透過深さを可能とする (予測し、決定し、発生または制御する) にある。決定および/または予測の観点から、これらの望ましい特性は与えられた露出から生じる硬化深さの決定、効果量の決定、所望最小面角度 (MSA) の決定、最速スキンプール幅の決定、部分的重合された材料の断面の硬さの決定、曲げ歪歪の決定、および厚厚間接着を生じるに必要なオーバ効果の決定などを含むが、

-15-

これに限定されない。これらの決定値から、適正な三次元部品の形成するために特定の形成技術を使用する。制御と作製の観点から、例えば層の厚さ、最大作図速度、最小限のプリントスルー、最大深さ、最小曲げ、および最大解像力などの最速特性を得るために、透過深さを制御する事ができる。本発明の重要なアスペクトは、使用される樹脂の特性、その樹脂に対応する透過深さ、この樹脂を固化するために使用される刺激性放射線の波長、および樹脂面に作用する刺激性放射線ビームの光強度プロファイルを統合するにある。複数の透過深さの予測、決定、制御または制御はオートメーション手法で実施される。

複数の透過深さを考慮する事によって様々なファクタが最適化される。三次元部品の作製速度が他のファクタによって許容される程度まで最適化される。

第1ファクタは三次元部品の形成に使用される最近解像力である。言い換えれば、このファクタは決定された層厚さである。層の厚さ (および硬

-15-

化深さ) が大きいほど、三次元部品の形状の解像度が不正確になる。ユーザによって要求される解像度は場合によって変動する。

第2ファクタはある箇所に偶然に加えられた追加露出である。これは「プリントスルー」と呼ばれる。例えばSLAが三次元部品の形成するためにクロスハッチベクトル (光重合体表面を硬化するためのUV光線のトレース) を使用する場合、トレースの交点はトレースの他の部分の露出の倍の露出を受ける。このような形成法は米国特許第331,664号に記載されている。透過深さが深くなれば、交点におけるオーバ硬化の深さも深くなる。このようなオーバ硬化に対するユーザの許容度は場合によって変動する。

第3ファクタは層の硬さと、層の上部と下部の硬さの差である。透過深さが層の厚さよりはるかに短ければ、層の上部は下部より硬くなる。これは、下部がゲル化する程度に露出を受ける時までに上部は追加露出を受けてゲル化点をはるかに超えるまで重合され硬化するからである。これは

次の層に対する固着、片持ばり状態、および物体が完全に硬化し固化する前の「生」硬化に影響する。層の所望の硬さと、層の上下部分の硬さの差異は場合によって変動する。

第4ファクタは放射線ビームプロファイル（例えばレーザビームプロファイル）であって、これは同時係属米国特許第268,816号に記載されている。市販のレーザビームは均一な光強さ断面または「プロファイル」を有しない事がある。ビームの多くの部分が他の部分より大きな光強さを有し、従ってより大きな露出を生じる場合がある。例えば、ビームの中心は外周部分より高い光強さを有する事がある。この中心部分の大きな光強さと露出の故に、中心部分で硬化深さが大となる。硬化深さの差異は露出の差異によって生じる。またこの硬化深さの差異の程度は、材料の透過深さおよび材料の重合特性およびゲル化特性に依存する。この組合わせが、材料の固化特性に影響し、従って所望の正味結果を生じるときに実施できる処理技術の型を制御する。例えばラインに沿ったビーム走

査の不均一プロファイルは不均一な硬化深さ（形成された固化材料の底部の不均一形状）を生じる。固化した（少なくともゲル化した）材料の硬化深さはもはやビームの平均光強さと走査速度によって決定する事ができず、ビームプロファイルによって決定されなければならない。形成された線の幅は、もはやビーム直径の関数ではなく、ビームの正確なプロファイルと走査速度の関数である。透過深さが変動するに従って、硬化幅と硬化深さの相互関係が変動する。

所望の三次元部品を得るに必要な平面状態が変動する。前記のファクタは用途ごとに、S/LAごとに、三次元部品ごとに、三次元部品の層の部分ごとに変動する。本発明のアプローチは、適正波長の確定、作製および/または制御の支援のため、S/LA操作中および操作間において複数の透過深さとビームプロファイルシステムを使用する。

第1の好ましい実施形態において、化学線の種々の波長によって複数の透過深さが考えられ、各波長が断面中の相異なる透過深さを有するので、

-18-

各波長は、液状光重合体から形成されつつある部分的に固化した体積の相異なる特性を生じる。これらの相異なる特性は、種々の形成状況に対応して種々の所望特性を得るため、相異なる波長を使用する可能性を生じる。実施例は、相異なる層厚さについて形成特性を最適化するための相異なる波長の使用例、プリントスルーを制御するための相異なる波長の使用例、部品形成時間を最適化するための相異なる波長の使用例を含む。相異なる波長は単独で（1回づつ）使用しまたは同時に使用する事ができる。

本発明の装置および方法により、立体的平板技術形成工程において、刺激性放射線の多重波長を同時に制御使用および/または自動化使用する事ができる。これは下記のアプローチのいずれか1つを使用していた従来のアプローチに対する大きな進歩である。1) 化学線の単一の波長の使用、または2) 多重波長の習用一貫しない、偶然の、制御不能の、制御不能の、また非自動的手法で使用する。その結果、複数部品の間接な組立て工程を

-20-

必要とし、また/あるいは低品質、低解像力の三次元部品を生じる。前記第1のアプローチは、液状光重合体の固化のために発生された化学線の使用効率が低下する。前記の第2のアプローチは放射線の使用効率は高いが、光重合体から部分的に固化された材料の特性の制御が不十分になる。本発明の新規な特色はこれら従来のアプローチこのような欠点を克服するにある。本発明による多重波長の自動化されたまた/あるいは制御された使用は、種々の有効なアプローチを成す：1) 刺激性放射線源に対する制御は最小限であるが、形成特性を予測する望ましい機能、従って形成前に許容できる製品の製造の可能性を予測し、別の形成技術を使用すべきか否かを知る機能、2) 多重波長の放射線源を制御して、種々の波長を制御し、従って透過深さを制御し、また各波長の出力と出力分布を制御して、部分的に固化した単位体積において所望の特定の特性を生じ、単一波長を使用した場合よりもはるかに優れた特性制御を成す。3) 各波長について同一の透過深さ（および境界

〔実施例〕

露出と効率)を生じるように側壁を平衡させ、多量被膜による効率的生産と共に単一被膜(単一透過深さ)の使用による簡単な形成技術を使用する事ができる。

第2の好ましい実施態様において、液状光重合体を変更する事によって複数の透過深さが与えられる。その結果、相異なる形成状況から最適特性を得る事ができる。硬化材料は置換または実質によって変更される。

これらの実施態様は相互に組合され、また本発明の主旨の範囲内において他の実施態様が可能である。以下、本発明を断面に示す実施態様によって詳細に説明する。

I. 立体平板装置

本発明の応用される立体平板装置は、電磁放射線、電子またはその他の粒子ビーム照射の簡単などの適当な相乗刺激に対応して物理的状態を変更する事のできる液体媒質、例えばUV硬化性媒質などの測定された表面に、複製される物体の断面パターンを形成する事によって三次元部品を複製する。例えばプラスチック粉末および焼結性金属粉末などの放射線硬化性粉末を使用する事ができる。物体の順次の隣接断面を表示する順次の隣接層が自動的に形成されて相互に集積され、物体の段階的ラミネートまたは層間構造を成し、このようにして断面工程に順して液体媒質の実質的に平坦なまたはシート状表面から三次元部品が形成される。

第1図は立体平板システムの断面図である。容器21はUV硬化性光重合体22または類似物によって充填され、加工皿23を成す。紫外線のプログラム光線26などが表面23の上に紫外線スポット27を形成する。スポット27は、光線26と共に使用

-23-

される反射鏡またはその他の機械的または工学的要素(第1図には図示されず)によって表面に沿って可動である。表面23上のスポットの位置はコンピュータ制御装置28によって制御される。制御装置28はCADデータによって断面の形成を制御し、このCADデータは、CAD設計システムなどのデータ発生装置20によって発生され、フィジクスフォーマットなどによってコンピュータ変換システム19に伝送され、そこで物体を定義する情報の特長スライスされ、ストレス、カールおよび歪を減少させるように処理され、複製の精度、強度および精度を増大した後にシステム28に伝送される。

容器21内部の可動エレベータプラットフォーム21が周期的に上下運動され、その位置はシステム28によって制御される。旋盤が作動するに従って、30c, 30b, 30aなどの集積層の段階的成形によって三次元部品30が形成される。

UV硬化性液22の表面は容器21の中において一定レベルに保持され、この液を硬化して固体物質

-24-

に変換する露出を生じるに十分な強さの紫外線またはその他の適当な形の反応性刺激のスポット27がプログラミングに従って加工面23に沿って移動させられる。液22が硬化し固体物質が形成されるに従って、最初表面23の直下にあったエレベータプラットフォーム29がこの表面から適当なアクチュエータによってプログラミングされたように下降される。このようにして、最初に形成された固体物質が被表面23の下方に降ろされて、新しい液体22がこの層を覆って新しい加工面23を形成するのを待機する。新しい加工面23と先に硬化された層の上表面との距離は、つぎに形成される層の厚さに等しい。この新しい液体部分がプログラミングされた紫外線スポット27によって固体に変換され、この新しく固化した層がその下方の層に対して接着する。三次元部品30全体が形成されるまでこの工程が続けられる。そこでこの三次元部品30を容器21から取り出し、つぎの部分の形成に準備される。つぎの部分、またはその他の新しい部分は、コンピュータ28またはCADデータ発生機20

の設計、データまたはプログラムを変更する事によって作成する事ができる。

本発明の好ましい実施態様による立体平板システムの光路28は代表的にはアルゴンイオン紫外線レーザである。他の実施態様は、Liconix Sunnyvale California製のモデル4240-N NoGd Multi-mode Laserなどのヘリウムカドミウム紫外線レーザを使用する。

市販の立体平板システムは第1図に同示の以外の他の成分およびサブシステムを有する。例えば市販のシステムはフレームとハウジングおよび制御パネルを備える。また市販システムは作業員を過度の紫外線から遮蔽する手段を有し、また三次元部品30が形成するに従ってこれを顕微鏡する手段を備える事ができる。また市販のユニットはオゾンおよび有害ガスを制御するための安全手段と、通常の商店安全防犯装置およびインタロックを備える。また一部の市販のユニットは敏感な電子装置を電子ノイズ源から有効に遮蔽する手段を備える。市販のSLAはユーザのCADシステム

と直接に接続したCADシステムまたはインタフェースを含む自激型システムである。このような市販のSLAシステムはカルホルニア、バレンシア、3D Systems Inc.から市販される。

I I. 透過深さ

多くの放射線吸収物質において、吸収される放射線の量は存在する放射線量に比例する。この放射線量はペールの法則に従って伝達される強さに比例する。ペールの法則は、光漂白などのメカニズムが存在する場合でも光の吸収行動、係数などに関する優れた近似値を与えるので、この工場の説明には有効である。吸収物質がペールの法則に従わない場合でも本発明の技術はこれらの物質に適用される。好ましい実施態様は、ペールの法則に厳密に従った複屈折/延長組合せを使用する。従って本発明に記載の方法の多くはこの法則の利用に基づいている。しかし、本発明の方法を他の法則に従う吸収性物質について使用する方法は当業者には明らかであろう。

-27-

第2図はペールの法則に従った光重合体22の容積の横断面図である。均一強さの光線の形の単色光線44が光重合体22の表面23のスポット27に衝突する。光44の強さはワット/ cm^2 または類似の単位で測定される。光重合体22の表面において、光強さは値I0を有する。光重合体22の各要素がこの要素に対する入射光の一部を吸収し、散乱される量を除いて他の光部分を透過させる。

光線44がレベル80までの部分的に透過されるまでに、光強さは係数 I/a によって減少させられる。ここにaは自然対数に数の底であって、これは約2.718に等しい。レベル48における光線44の強さをI0とすれば、レベル80における透過光線56の強さが $I0/a$ である。光線44が係数 $1/a$ だけ減衰される距離(表面48からレベル80までの距離)は透過深さDpまたは1透過深さ(PD)と定義される。

レベル80から光線56の一部は下方のレベル70まで透過され、また一部は吸収される(図明の便宜上、散乱光は無視される)。レベル80からレベル

-28-

70までの距離はもう1つのPDである。従ってレベル70に到達する光線56の強さはレベル80に到達する光線56の強さより、係数 $1/a$ だけ少ない。従ってレベル70は光重合体表面23の下方に2つのPDを有し、強さ $I0/a^2$ の光強さを有する。導入レベル80は表面23の下方に3PDを有し、レベル80の光強さは $I0/a^3$ である。一般に、表面強さI0を受ける表面23の下方dの深さの強さIは、 $I(d) = I0/a^{d/PD}$ で表される。ここにDpは透過深さであり、 d/Dp は特定のPD数によって表される。従って例えば表面23下方2.3PDのレベルにおいて、光強さは $I0/a^{2.3} = I0/I0$ となる。

本発明は従来技術とその問題点に克服の問題を解決したその他の利点を得るため、種々の透過深さDpに適用される。

露出(E)は表面に衝突するエネルギー量と定義される。従って露出はエネルギー/面積として測定される。代表的な単位はジュール/ cm^2 である。光重合体22は十分に紫外線に露出された時に

液状からゲルに変換する。ゲルを形成するのに十分な反圧数を生じる最小限の露出は露昇露出Ecと呼ばれる。この露昇露出は材料、波長などに依存する。光重合体22がEcより大きな露出を受けた場合、ゲル化した材料はさらに重合し、固くなり、重合工程が終了するのに十分な露出が与えられるにいたる。露出が完全重合を生じる事なく、光源から適当な放射線量を吸収して光重合体の一部の中に重合を生じる。光線44は光重合体22の中に深く進捗し、減衰されるのであるから、上方レベルは下方レベルよりも大きな露出を、従って大きな露出を受ける。この上に上方レベルが先にゲル化する。例えば、レベル60がEcを受けた時に、下方レベル70はEcより係数約3倍低い露出を受ける。第3図は、レベル80より上の材料のみが少なくともEcを受け、従ってレベル80上方の光重合体22が光44を受けて区域84においてゲルに変換しているが、レベル80より下方の光重合体22は光44の一部に露出されてまだゲル化されていない状態を示す。

前記より長い露出時間（約2.7倍の時間）後にレ

ベル70がEcに達する。この時間の状態を第4図に図示する。光線44に露出されたレベル70上方のすべての材料が液体から非液状に固化している。例えば区域86は現在ゲル状態にある。この瞬間までに区域84はEcよりはるかに大きな露出を受け、従ってこの区域84の光重合体22はさらに強く凝縮性になっている。

さらに長い露出（2.7倍の露出）後に、レベル80がEcに達する。この瞬間を第5図に示す。第5図の時点までにレベル70上方の物質は光線44をさらに受けて液状から非液状に硬化している。例えば区域88はゲル状を成す。この時点までに区域86はEcよりはるかに多量の光線（約2.7倍）を受け、この区域86の光重合体22はさらに重合されて、固くなり、さらに凝縮性の塊を形成している。第5図に図示の時点までに、区域84はEcよりはるかにさらに多量の露出を受け、この区域84の光重合体22はさらに重合されて、さらに強く凝縮性の塊を成す。このように露出量を増大して光重合体の硬さと硬化深さを増大する工程をさらに続ける事がで

-31-

きる。前記の第3図、第4図および第5図において、垂直にゲル化物質を通して連続的な重合グラジエントが存在する。レベル80と80との間の相異なる露出量が相異なる硬化深さを生じている。特徴の材料/波長組合せにおいて最小限露出深さを有する最小限露出量が存在する。この実施例の場合、この最小限露出はレベル23とレベル80との間にあると考えられる。

前述のように表面23下方の深さ（d）（ミル）の函数としての光強さIは、

$I(d) = I_0 / e^{d/D}$ であり、ここに、 I_0 は第2図の表面23のスポット27に入射する光線44の強さ、 D はミルで測定された透過深さPDである。露出Eは強さ（I）に比例するのであるから、 $E(d) = E_0 / e^{d/D}$ と書く事ができる。

第6図は表面23の下方深さdと表面露出E0の函数としての露昇露出Ecをプロットした「作動曲線」である。言い換えれば、第6図は硬化深さと露出量のプロットである。第3図、第4図および第5図について述べたように、光重合体22をゲル化す

るのに丁度十分な露昇露出Ecは、表面露出E0が大きくなった後にのみ表面23下方の深部において到達される。これは表面露出E0を生じる光線44の全部が深部に伝達されないからである。第6図において表面23の下方0ミルの深さ特線に示されている。この実施例においてEcは $0.013/cm^2$ に等しい。従って作動曲線80、深さ（d）が0に等しく $0.013/cm^2$ の得られる点92においてE0特線と交わる。点92は第2図のスポット27が露昇露出Ec=18 MJ/cm²を受けた後の状態に対応する。この点においてスポット27はゲル化し始める。

先に述べたように、下方レベルにおける光強さIは、光重合体22として選ばれた物質の吸収特性および入射光線44の波長などに対応して用途ごとに変動する。露昇露出Ecも用途ごとに変動する。Ecの値は使用された樹脂、波長、樹脂上方の（平衡）雰囲気、温度などに依存する。従って、作動曲線84はある種の用途に付いてのみ有効である。この作動曲線84において、点96は表面露出E0が $250 MJ/cm^2$ より少し上まで増大した時に露出が

-32-

露昇露出Eと等しくなる深さ、(この場合21ミル)を示す。この実施例において、点88の深さは21ミルであり、この深さは例えば第5図のレベル80に対応する。

第6図において、作動曲線84の右側の区域100は、この実施形態において実際の露出EがEより大となる深さと表面露出E0との組み合わせを示す。これらの組み合わせにおいて、光重合体22はもはや液体ではない。

一般に、この区域100において作動曲線84から離間するほど、光重合体22が重合され凝縮性となる。例えば、第5図の点102は第5図のレベル80の近くの区域84に対応する。レベル80はレベル70より表面23から低いレベルである。従って、一定の表面露出露出E0に通じた後に、レベル80はレベル70より多量の露出Eを受ける。点88は作動曲線上にあり(レベル80がちょうどゲル化した点)であるが、点102は作動曲線84から離れ、レベル80ははるかに重合されている。

区域100と反対に、作動曲線84の左側の区域104

-35-

造を意味する。これと反対に、作動曲線84の傾斜が平坦であれば(小さなPd)、これは光重合体が第6図の用途よりもより小量の入射光線44を伝達する用途を意味する。

本発明のシステムを使用して透過深さDpの種々の値を可能とする事により、多くの利点が得られる。これは、SLA操作の最大速度を可能とし、電力を節約し、歪を防止し、所望の解像度を得やすくし、クロスハッチ・オーバーキユを制限し、硬化深さの均一性を増大する。第1の好ましい実施形態においては、SLAにおいて、種々の波長の単数または複数の放射線源によって種々の深さの透過度を生じる事ができる。第2の好ましい実施形態においては、SLAの中において、種々の伝達/吸収率の光重合体によって種々の透過度を生じる事ができる。

SLAはコンピュータ支援設計を迅速に三次元プロトタイプに還元するために使用されるので、操作速度が重要な目標である。所定の露昇露出に対して透過深さが深いほど速度が増進される。透

は、この実施形態において実際の露出EがEより小となる深さと表面露出E0との組み合わせを示す。この区域においては、光重合体22はまだ液体である。

作動曲線84は、特定の用途に付いて、また特定の波長または波長組合せに露出される特定の光重合体について、また樹脂の中に吸収されるガスの量と量などについて有効である。ヒストリー(すでに吸収された光量)および光強さが光重合体の吸収率に影響しないものと仮定する。実用上、おおくの物質が露出と光強さ(光量積算)の非常に広い範囲にわたってこの簡単な規則に従う。この規則に正確に従わないもの多くの場合においても、この光重合体の重合についてのすぐれた近似値を与えるので、非常にわずかの補正のみを必要とする。

作動曲線84が第5図において右側に移動すれば、これは露昇露出E0が大きな用途を意味する。作動曲線84の傾斜が急であれば(大きなPd)、これは光重合体がより多量の入射光線44を伝達する用

-36-

造深さが深い場合、レーザビームのパスごとに各層の大部分が硬化される。また、同一の露昇露出において透過深さが深い場合、迅速なレーザビームパスを生じて所定点を所望の深さまで硬化させる事ができる。

深い透過深さを使用する事が速度の向上に重要なのは、一部には、ビーム強さ/露出の増大が硬化深さの比較的小さな増大を生じるからである。すなわち露出を倍加しても $(1/n - 2) \cdot (Dp)$ までの硬化深さの硬化を生じる。従って、初硬化深さd1が $(1/n - 2) \cdot (Dp)$ より大である限り、表面露出E0を倍加しても初硬化深さd1の2倍以下となる。

従って深い硬化深さの使用は、硬化深さの迅速な増大のために重要である。一定の露昇露出に対して、2倍の透過深さを有する材料においては、 $\alpha^{(1/PD)}$ のファクタだけ迅速に特定の硬化深さに到達する。所望の層厚さの約30-40%の透過深さ(Dp)が形成される層の速度と凝縮性に関して適当である事が発見された。例えば20ミルの厚さの

ように、端部部分は浅い透過深さを必要とする。レーザ出力を制御し（実際は単位面積当り強さ（I）を制御し、）また作図速度（単位面積当り時間 t ）を制御する事により露出が決定される。現在市販のSLAは、露出を約10%以内またはこれ以上の精度で制御する。縁図の交差部分は他の縁図部分の露出を増加する。先に述べたように、露出の増加は硬化深さを $(1n^2) \cdot Dp$ だけ増大させる。従ってもし透過深さが大きくなれば、プリントスルー深さがこれに比例して増大する。ユーザのプリントスルー許容度は作成される三次元部品に依存している。

またこのオーバー硬化に対するユーザの許容度は層ごとにまた層の部分ごとに変動する。交差点が所期の硬化点を越えていても、その層を下の層に付着させるためにある程度のオーバー硬化は許される。その反対に交差点が下向き面の上方にあれば、オーバー硬化が所望の下向き特性を越えて突出する。透過深さの増大に伴って、露出（出力または走査速度）のエラーから硬化深さのエラーを生じる。

-42-

あるいはユーザが手動的に適切な透過深さを測定する事ができる。

重合体の硬さが透過深さを制限するもう1つの要因である。第5図において、区域84は区域88よりも数倍の放射線量を吸収し吸収しているため、区域88がゲル化するまでに区域84ははるかに凝縮性（硬化）している。区域84は区域88より数倍のDPにあるからである。透過深さDPがはるかに第1であって表図23がレベル80の上方1DP以下にあるとすれば、区域84は区域88と比較してはるかに凝縮性とはならないであろう。しかし部分的に硬化した部分の「生」硬さは各単位体積の重合度に関連している。生硬さは各単位体積の硬さの合計と見なす事ができる。従って重合度が高いほど、生硬さが高くなる。大きな生硬さは、下から他の部分によって十分に支持されていない三次元部品にとって極めて重要である。片持ちばり部分の層の上部が固ければ（凝縮性であれば）、これは大きな歪抵抗力を生ずる。好ましい実施態様において、支持されない区域の各後続層の上部が重力

言い換えれば、プリントスルーエラーを所望の縁図内に保つためには、小透過深さを使用しなければならない。例えば、10ミル（0.010"）厚から形成する場合、実際の硬化深さは14ミル ± 1.5 ミルとする事ができる。もし透過深さが3ミル（厚さの30%）であれば、露出の $\alpha^{1/2} = 1.65$ 倍に増大すれば、予定の露出によって硬化深さが1.5ミルだけ増大する。露出を85%の変動範囲内で制御しこれらの限度内で硬化深さを制御する事は比較的容易である。これに対しミルの透過深さを使用する場合前記と同様に1.5ミルの余分深さを生じるためには、露出を $\alpha^{1/4} = 1.28$ 倍増大する必要があり、それだけ制御作業が困難になる。この場合、硬化深さのエラーを1.5ミル ± 2 ミルとさせるため、露出を85%以内でなく28%のエラー以内に制御する必要がある。

三次元部品が形成されている際の傾向において下向き面に関してオーバー硬化が大きな問題である。制御システム28がどの層のどの部分がオーバー硬化を受けているかを確定して、透過深さを減少させる。

-43-

によるたわみまたは曲げによる歪に抵抗するためにはどの程度固くしなければならないかを制御装置28が確定して、透過深さを調整する。樹脂中の曲げ、重力たわみ、引張りによる歪に抵抗するように、曲げ点（底面または上面）間の距離と、この距離中の各単位体積の硬さ因子とを組合せて、曲げモーメントに対する抵抗力として三次元部品の生硬さを確定する事が好ましい。

三次元部品30の片持ちばり部分はさらに必要ならば他の支持体または不活性物質によって支持される。ユーザまたは制御装置28が、曲げ抵抗（片持ち強さ）、所期の曲げモーメントおよび所期の曲げ度を考慮してその必要を確定する。片持ち強さは層の厚さの立方に比例して変化する。先に述べたように、層の厚さおよび所期の曲げ度は透過深さDPと共に変化する。前記の支持体は、硬化されるが三次元部品30の裏面の部分ではないので三次元部品から除去されるワッフルグリッドとする事ができる。この支持体については同時係属特願331,604および182,801に記載されている。ある

-44-

-246-

-45-

いは、三次元部品30の周囲を流される不活性物質が三次元部品30の非支持部分を支持する。この種の好ましい物質はホットメルト接着剤またはワックスとす。必要区域を支持するために溶融されつぎに適当に固化される不活性物質は一般に紫外線によって硬化されない。この不活性物質を適当に（重および位置）配置するため、分与装置を備える事ができる。

与えられた重合体において相異なる光吸収率は相異なる吸収特性を有するので、一般に相異なるDp値を有する。また一般に相異なる光重合体22は相異なる透過深さ値Dpを有する。

IV. 好ましい第1実施態様

本発明の好ましい第1実施態様は相異なる波長を発生する光源を備えたSLAである。この光源は実質上、相異なる数個の光源から成り、各光源が単波または複数の刺激放射線波長を発生する。この実施態様の重要な点は、相異なる波長の刺激放射線が一般に与えられた光重合体22の中にお

いて相異なる透過深さ値Dpを生じる事である。この実施態様は基本的に2つの手法に分けられる。第1の手法は樹脂を固化するために2種または2種以上の波長を同時に使用するにある。第2の手法は2種または2種以上の波長の刺激放射線を使用するが、固化工程において1回に1つの波長のみを使用し、各波長が使用される樹脂の中への相異なる透過深さを有する仮想光重合開始剤の与えられた深さにおいて吸収される入射光線の%に波長λをナノメートル（nm）でプロットしたグラフである。一般に光重合体は主として各種の単量体からなり、光重合開始剤を含有し、またその他各種の成分を含有する。これらの他の成分は光吸収剤、禁止剤、充填剤などを含む。多くの光重合体において、主な吸収要素は光重合開始剤である。説明の便宜上、この明細書において光重合開始剤が樹脂中の主たる吸収性要素であると仮定する（他の要素が光吸収に役立つとしても分析値は類似である）。光重合開始剤は、刺激放射線を受けた時に重合反応を開始する事のできる反応性

-46-

要素である。多くの単量体は約300nmよりはるかに低い波長で放射線吸収を開始する。第13図の仮想光重合開始剤の場合、290nmでは非常に小量の光が吸収されている。小量の光が吸収されている場合には、入射光線44の大部分は穿通21の中の深部まで伝達される。しかし多くの単量体はこの波長で強く吸収し、この吸収によって特定深さの透過を生じる。従って290nmの波長の放射線は光重合体22について深い透過深さを有すると思われる。第13図において、光重合開始剤単波で360nmの波長で、290nmの場合と同程度の吸収特性を示している。しかし、単量体は強い吸収を生ぜず、また追加成分の存在を無視すれば、光重合体全体として、大きな透過深さを有すると思われる。しかし325nmにおいては入射光線44の大部分が光重合開始剤によって吸収される。これは深い透過深さを示している。この実施例において、透過深さは290nmから360nmの波長範囲内において連続的に変化する。立体平面装置において一般に使用されているレ

-48-

-47-

ーザは、325nmにおいて単一の波長または「ライン」を生じるヘリウム・カドミウムレーザである。しかし本発明の実施態様は好ましくは、アルゴンイオンレーザであって、これは単一波長においてまたは数波長において同時にレーザ光線を発生する事ができる。アルゴンイオンレーザは、従来使用されていたレーザよりも出力（光強さ）が大きい。多数波長モードで動作する場合、出力は数ラインの間に分布される。このモードで動作する場合、レーザはいずれかの単一波長モードで動作する場合よりも大きな合計出力を有するので、適合のためにすべてのラインを使用する方法が出力上有利である。

第14図は、相異なる吸収／透過深さと相異なる障壁露出を有する2種の波長のそれぞれの作動曲線を示す。2.1（例えば360nm）の作動曲線94は2.2（例えば325nm）の作動曲線302よりも傾斜が急である。これは光重合体22の各レベルにおいて、2.2よりも小量の2.1が吸収されている事を示す。言い換えれば2.1は2.2よりも透過されるので透過

-247-

-49-

レーザによって発生される。第14図について述べたように、 $\lambda 1$ は硬化深さにおいて支配的であり、崖体区域と非崖体区域との境界の点の包絡線である。三次元部品30の区域84と区域86の一部の硬さは、区域86の中間まで硬化した波長 $\lambda 2$ によって増大されている。このように影響された区域は3領域から成る。すなわち領域314、318、316。領域318は最も深く、3領域のうちで最も硬化度が低い。この区域86において $\lambda 1$ によって固化された物質よりもなお凝結性である。これは領域318が単一領域であり、より多くの光線320を吸収したからである。領域318は表面23から二番目の領域であるので、領域318よりも硬い。領域314は他の領域よりも多量の単一領域あたり多量の光線量を受けているので、はるかに硬い。

第15図は単一層の三次元部品30を示すとすれば、この層は $\lambda 1$ と $\lambda 2$ の組合わせにより（主として $\lambda 2$ の故に）表面23の近くにおいて（領域314、316、318）はるかに硬いが、レベル320までの他の大部分においては比較的柔らかい。この場合、波長 $\lambda 2$ と

その硬い透過深さがなければ、このような硬い区域は存在しないであろう。波長 $\lambda 1$ とその硬い透過深さがなければ、この層は表面48に非常に近い部分においてのみ硬化され、所望のレベル80までの硬化には過度に長い時間を必要としたであろう。従って、各波長とその対応の透過深さの組合わせが有効な特性を生じた事が理解されよう。

この好ましい第1実施形態は、その2つの主要手法に見られるように、このような二重（複数）透過深さを利用して、表面近くにおいて硬いまたは柔らかい硬い区域を成して余分の「生」硬さを生じると共に、低い透過深さを利用してさらに深い所に比較的柔らかい区域を短時間で形成する事ができる（重合度が低い、なお凝結性であったり形成時間が短い区域）。

第14図と第15図に図示の実施例において、波長 $\lambda 1$ と $\lambda 2$ は硬化深さを決定するためにそれぞれ別個に扱われる。これは下記の二、三の要因の組合わせによつて可能である。

1) $\lambda 1$ は $\lambda 2$ より、はるかに深い透過深さを有す

-53-

る。

2) 相対光強さが同一である。

3) 金露出がそれぞれの露出露出よりはるかに大である。

しかし、これは常に可能ではない。相異なる三次元部品が2つの波長に対して類似の透過深さを有し、相対光強さが相互に不一致であり、または所望の硬化深さを得るに必要な露出が両方の波長の露出露出よりはるかに大きくない場合がある。従つて、波長をそれぞれ別個に考慮する事によつては正味硬化深さを決定する事ができない。前述のように、与えられた光重合体が2および3以上の波長について類似の透過深さを有した各波長に対応する光強さが類似であれば、その累積効果は硬化深さを決定するものと考えなければならぬ。

単一の波長の硬化深さまたは同時にレーザから放射される複数の波長の累積硬化深さを実験的に得るためには、「バンジョウ・トップ」を使用する事ができる。バンジョウ・トップとは、相異なる

-54-

る露出によって相異なる深さまで硬化された一面のストリングである。

第16a図は、バンジョウ・トップ330の平面図である。まず表面23上に長方形輪郭を深く硬化する事によつてバンジョウ・トップのフレーム332を形成する。第16a図は第15図の光線320方向に見おろした斜視図である。

つぎに、光線320によって非常に低い表面露出50をもつて通路334を通路334を横断すると、フレーム332に対して横方向にストリング336が巻結する。第6図または第14図に図示のように、作動曲線をプロットするために多数のストリングが形成される。通路336を少し大きな露出、例えば250によって横断する。これはストリング336より少し幅広く深いストリング340を形成する。通路342を少し大きな露出、例えば450をもつて横断する。これはストッピング340より少し広く深いストリング344を形成する。さらに2つの通路とブラスタック状の硬化ストリップは図示されているが、数字を付けられていない。

最後に、光重合体22からバンジョウ・トップ330を除き第16a図は第16a図の16b-16b線に沿って見た断面図である。従ってフレーム332として適材を使用する場合、フレームを通してストリング336、ストリング340およびストリング344と2つの数字なしのストリングが見えて、側面から測定することができる。あるいはキャリパ、マイクロメータ、測定用顕微鏡などを使用して深さdを測定することができる。または必要があればバンジョウ・トップ330を切開してストリングに近接することができる。既知の表面露出から得られたストリングの深さdから、少なくとも2つのストリングについて同時に、式 $E_o = E_o / e^{4\pi d / \lambda}$ を解く事によって透過深さと露出露出 E_o を得る事ができる。ストリングについての微分式を解く間接的方法は、表面露出 E_o の対数に対して硬化深さdをプロットして作動曲線を形成するにある。露出の対数に対して硬化深さをプロットするのは、われわれの理論(ペールの波則)がEの対数的増大と共にdの線形増大を予定しているからである。この作動曲線

-57-

出ではなく最大露出(ビームが走査される場合、最大合計光強さ \times 時間)に基づかなければならない。

三次元部品30の形成後または形成中に、光源20が光強さを変動させる事があろう。従って各新規三次元部品の形成前に、または新規三次元部品の各形成段階の前に、光強さ(単位面積あたりの出力)をチェックしなければならない。実際上、ビームはその走査中に光重合体を露出するために使用されるのであるから、走査経路に沿って積算された最大光強さを知る事が望ましい。この光強さのチェックは、同時係数特許S. N. 331,664に記載のように、ビームが発生された時のビーム出力と共にバンジョウ・トップ情報を含む素材のデータファイルを使用してビームプロファイルによって実施される。レーザは一般にその寿命中に出力と光強さを失う。単一波長SLAにおいては、レーザの出力または光強さが顕著に変動した時にバンジョウ・トップを作図する事によりまた/あるいはビームプロファイルを使用する事により、

-59-

は下記の形をとる:

$$\text{硬化深さ} = d = P \cdot d \cdot L \cdot n(E) \cdot \text{一定数}$$

ここに傾斜は透過深さであり、定数は透過深さ $\times E$ の自然対数である。

前記のバンジョウ・トップの説明は二、三の基本的特徴を示すために成された。図解に第2図、第3図、第4図、第5図および第15図は若干の特徴を示すように図示された。これらの説明は均一な光ビームの使用を仮定していた。すなわち、ビームの横断面の単位面積あたりの出力が一定とみなされていた。しかし実際の立体平板技術に使用されるビームは一般にこのような均一な出力分布を有していない。ビームの半径において、光強さの変動があろう。これらの変動は一般に重合物質の不均一な重合物質の痕跡(ストリング)を生じる。一般に固化プラスチックのストリングの中心線は線よりも濃厚であり、プラスチックストリングの幅は三次元部品の上面から最大硬化深さ点まで減少する。言い換えれば、プラスチックストリングの硬化深さを予測するためには、平均露

-58-

出力と光強さの変動を考慮する事ができる。マルチラインSLAにおいては、出力損失が各ラインについて比例的に同一でなければ、前記の技術をしようする事ができる。出力変動が比例的であれば、バンジョウ・トップ型テスト部品を一層頻繁に作製しなればならない。

出力損失は各波長について同一ではないといがあるので、硬化深さおよびその他の硬化特性を知りたければ、各波長をそれぞれプロファイルしなければならない。各波長の光強さを測定する好ましいシステムは、毎回1つを除いてすべてのラインを通過するにある。これは例えば光源と走査鏡との間においてビーム偏中に可動フィルタを配置する事によって実施される。他のアプローチは、複数の光センサを備えた単数または複数のビームプロファイルを使用し、各ライン波長に対応する各光センサ上にそれぞれ異なる状帯幅バスマイルタを備えるにある。樹脂の必要パラメータが公知であれば、各波長の光強さプロファイルが作られると、各波長について種々の硬化パラメータを

-250-

-60-

決定する事ができる。これらの硬化パラメータが算出されれば、さらに硬化工程において、どの波長と対応の光強度を使用しなければならぬかを決定する事ができる。どの波長とその相対光強度を使用するかの制御は種々のアプローチによって自動的に実施する事ができる。1つの可能なアプローチは、ビームを受領し待たれる波長に対応の出力を減衰させるために各種のフィルタを使用するにある。さらにこれらのフィルタによって達成される減衰度は、フィルタをビーム通路の中にどの程度挿入するかによって、相異なる不透明度のフィルタを設計する事によって変動させる事ができる。あるいは、フィルタの角度配向に従って特定の波長に対して0減衰から非常に高い減衰度までの範囲を持つ円形フィルタを使用する事ができる。追加例として、他のアプローチは、各波長について個別の制御可能光源を使用し相異なるビームを合成させるにある。これらの種々のアプローチは、操作員または操作員なしで制御システム28によって直接に制御する事ができる。他方、樹脂パラメ

ータが既知でなければ、バンジョウ・トップまたはその他類似の部品を製作する必要がある、また追加樹脂パラメータを決定するための他の実験を実施する事ができる。

バンジョウ・トップ測定を自動化する事ができる。例えばバンジョウ・トップが形成された場所からロボットがバンジョウ・トップを取り上げ、その上に溶媒を噴射し、または溶媒中に浸漬し、余分の樹脂を洗い落とし、つぎにこれを硬化化する事ができ、つぎに機械的手段、電気的手段または光学手段によってその厚さを測定する。しかしこれは複雑な工程である。さらに好ましいアプローチは、すべての必要な測定を成すため、特定の樹脂特性と共にビームプロファイル情報を使用するにある。これが本発明の目的の1つである。

第1実施態様の第1アプローチ(多波長の同時使用法)においては、二、三の好ましい法がある。1) 平衡効率を有するまたは有しない平衡樹脂の使用、2) 放射線を制御しないが、予定出力を完全に使用する方法、および3) 放射線源の制御、

-61-

前記の第1実施態様の第1法は、単一波長アプローチの簡便さをもって同時に多数波長を使用する事が可能である。

各波長の光強度を考慮するため各波長の出力を別個に測定する代わりに、光重合体を慎重に選択する。例えばある1つの光重合体を使用される各波長に対して同一の透過深さ(および同一の臨界露出および重合体形成効率)を有するとすれば、相異なる波長の相対的出力(合計光強度)の変化は硬化特性に影響しない。この方法は、表面近く非常に薄い区域、その下方に強い(迅速)区域を生じないが、複数波長のレーザの全出力を利用する事ができ、またマルチライン放射線源のそれだけの出力損失を測定する必要がない。

各波長について同一の透過深さを得る1つの方法は、使用されるすべての波長について同一の吸収率を有する光重合体を測定するにある。例えば第13図において、レーザが290nmおよび360nmで放射する場合、グラフに示した光重合開始剤はこれら両方の波長について同一の吸収率を持つ。

-62-

従って単量体およびその他の成分による吸収を無視すれば、これら両方の波長は開始剤および光重合体中への同一の透過深さを有するものと考えられる。同様に光源(2b)が図示の波長AとBの放射線を放射すれば、いずれも同一の透過深さを有すると考えられる。

第17図はSLAの中での代表的化学反応を示すブロックダイアグラムである。市販のSLAの中に使用される液体は一般にUV感応光重合開始剤の存在の故に紫外線に感応して重合する。光重合開始剤350は紫外線露出に感応して遊離基352に分裂する。この遊離基352が単量体分子354間の化学反応を誘発してこれを重合体356に転化させ始める。さらに露出と吸収後、より多量の単量体354が重合体356に添加される。重合体356の十分な密度が生じた時、ゲル358が生じる。さらに重合すると、ゲル358が完全に重合してプラスチック360を形成する。

第18図は、波長に従って相異なる示差吸収を示す複数の光重合開始剤を含む光重合体の吸収/波

-63-

-251-

-64-

長グラフである。各波長について透過率が同一となるまで光重合開始剤の量が調節される。特定の光重合開始剤の吸収特性が第18図のグラフの全体的形状を決定するが、その濃度が各波長における吸収率および透過率を決定する。光重合開始剤の量の増大は吸収量の増大を意味し、すなわち第18図における高い曲線を示す。曲線370はλ3において最大吸収を有する第1型の光重合開始剤である。曲線372はλ4において最大吸収を示す第2型の光重合開始剤である。これら2つの光重合開始剤が単一樹脂の中に結合された場合の累積効果は曲線374によって示される。曲線374はλ3とλ4との間において比較的平坦であり、これは中間波長がλ3およびλ4と類似の吸収を有する事を示す。従ってλ3とλ4の間の波長の有するマルチラインレーザを使用して、単一の均等な透過率を保持する事ができる。

樹脂は骨ラインについて同一の透過率を生じるために慎重な「調整」を必要とする。市販のアルゴン-イオンレーザは種々の単一波長において

または同時に複数波長において紫外線領域の放射線を生ずるように設定する事ができる。アルゴンレーザの主たるUVラインはほぼ364nm、351nmおよび334nmその他ののである。レーザは、それぞれ364nmライン、351nmラインおよび334nmライン/その他のラインについてそれぞれ約40%、40%および20%の出力をもってこれらすべての波長において同時に放射するように設定する事ができる。またレーザは各波長についてその他の出力をもって放射するように適宜に調整する事ができる。最も好ましいモードにおいてレーザは364nmライン、351nmラインおよび334nmライン/その他のラインについてそれぞれビームの全出力の48%、48%および4%の出力を有するように調整される。前記のその他波長の相対エネルギーが非常に低いのでこれらの波長はこのビームの放射によって得られる硬化パラメータに対して実質的に買収しない。すなわち主として2つの透過率を含むビームが得られる。このビームがすべての複数の波長実施態様によって好ましいビームである。三

-65-

次元部晶形成のための好ましい平衡樹脂は、ビスフェノールA ジグリシジルエーテルに対するアクリル酸アダクト49部 (Novacure® 3760)、2-フェノキシエチルアクリレート (Sartomer® 339) 5部、トリメチロールプロパントリメタクリレート (Sartomer® 350) 12部と、エトキシレートビスフェノールA (Sartomer® 348) のジメチルアクリレート25部とから成る組成であり、この組成に、1.5部の酸化2, 4, 6-トリメチルベンゾイルジブチルホスフィン (Lucirin® TP0) と、2.68部の1-ヒドロキシシクロヘキシルフェニルケトンと混合される。(部数は重量部) この組成は351nmおよび364nm波長アルゴンレーザ放射において同一の吸収率を示す[1nmの厚さに対して2.0の光学密度 I_0/I] この樹脂組成は、立体平坦技術によって三次元物体を調製するための優れた感度を有する(351nmと364nmのアルゴンレーザ放射において $24\text{mJ}/\text{cm}^2$ のエネルギーによる放射によって厚さ0.3mm重合が生じる)。

種々型の光重合開始剤が光エネルギー(例えば

-66-

1光子)を技術するので、これらの光重合開始剤は種々の量の光重合を生じる事ができる。光重合開始剤/単独体組合せの効率は吸収された光子に対応して化学結合形成する能力に関連している。2種の光重合開始剤が異なる効率を有すれば、吸収された同一量(または同一%)の光吸収量(同一透過率)が異なる硬化率を生じる。従ってこの実施態様の光重合体は透過率(吸収%)のみならず、吸収に伴う効率についても平衡されなければならない。

第19a図は他の2種の光重合開始剤の吸収/波長グラフである。第19a図乃至第19g図は効率を考慮する方法を示す。曲線380は、ピーク吸収波長λ5において一定の光パーセントを吸収する適当濃度の光重合開始剤である。曲線382はピーク吸収波長λ7において同一の光パーセントを吸収する適当濃度の第4光重合開始剤を示す。この光パーセントは第19a図においてp1で示される。これらの2つの波長(λ5とλ7)は、同一吸収率を有するので同一の透過率を有する。しかし第1光重合開始

剤が第2光重合開始剤よりも高い効率を有すれば、この第1光重合開始剤は重合に関して高い効率を示すであろう。言い換えれば5は与えられた露出に対して2.7よりも高い重合度を生じ、従って高い硬化深さを示す。第1光重合開始剤は第19b図において曲線388においてしめされた効率を有するが、第4光重合開始剤382は第10b図の曲線388より低い効率を有する。

効率の差を考慮する場合、第19図は与えられた露出に対して2.5は2.7の生じる重合体(E D 2)より多くの重合体(E D 1)を生じる事を示す。これらの波長について同一の硬化深さを得るためには、吸収率と同様に効率も均等にしなければならない。これは、第1光重合開始剤の濃度を低くして、曲線380、388の高さを第19a図および第19d図にそれぞれ示す曲線390、386まで低下させる事によって実施できる。しかしこの場合、2種の光重合開始剤の吸収率(透過深さ)が一様しくなくなる。従ってこれらの吸収率を一様させるため、入射光線の一部が重合に貢献しないように吸収しなければならない。

ならない。例えば、第1光重合開始剤を含有する樹脂に対して光吸収剤を添加する事ができる。光吸収剤は2.5の近く光を吸収(または阻止)するように適定される。その吸収能力は第19e図の曲線398によって示されている。曲線398と曲線380とを加算して、第19f図の少なくとも2.5における曲線380を形成する(第19a図の曲線380と同じ)。第1光重合開始剤が第19f図と第19d図の曲線380によって示される入射光線量を吸収する事ができるようにするまで光吸収剤を添加すると、2.5は第19d図の曲線388の2.7、および第19d図の曲線398と同一の効率E D 1を有し、また第19f図と同一の透過深さを有する。このようにして、第19g図に示すようにD dと効率が完全に一致した。その結果として、第19h図と第19i図に示すような任意の波長で使用できる樹脂が得られる。所望の平面状態を得るためには2種以上の光重合開始剤、光吸収剤およびその他の要素を必要とするが、平面アプローチは同様である。

マルチライン可視光レーザについて、可視光の

-69-

任意の波長について同一の効率と吸収能力を生じる類似の材料を製造し使用する事ができよう。しかし、この窓の材料は可視光に感応して硬化するので、適切な注意を払わなければならない。このような注意とは、刺激性可機放線からS L Aおよび生部品を保護しあるいはこのような放射線を可視光から除去する事を含む。

第1アプローチの第2法は複数の刺激性波長を使用しながら部品形成を支援するために予測出力を使用するにある。この方法は種々の形成パラメータと硬化パラメータを予測するため、各波長に対応するビームプロファイル特性と既知の樹脂パラメータを使用するにある。このような予測/決定は主として下記の3つの目的のために成される。1) 現在使用可能な多波長放射線源を使用して所望の物体を製造できるかどうかの決定、2) 最初にどのような形成パラメータを使用すべきかの決定、および3) 必要ならば物体の形成において今後使用される露出パラメータの決定。これらの各種の予測は硬化率、硬化幅、生座および

-70-

その他を含む。最も重要な予測パラメータは生座である。この方法は複数の波長を使用し、これらの波長の強度が制御されないものであるから、正確な波長と透過深さに依存して特定体積のプラスチックについて広範囲の生座を得る事が可能である。従って生座の決定は、三次元部品の形成のためにどのような形成パラメータが最も適当であるかを決定する際に最も重要である。例えば、あるエネルギー/波長組合せの場合、生座の不足の故に5ミル層を別個に形成する事が不可能となるが、他の組合せの場合には生座は5ミル層の形成十分であり、また支配的波長の透過深さが少ないので20ミル層の形成が困難となる場合がある。この方法の最良の形成パラメータの予測と、その後の決定は他の実施形態についても実施されるが、複数波長の自動化使用に対する最小限のアプローチとしての予測と決定の可能性に限定する。

第1主要アプローチの野ましい第3法は第2法のスベットのアスベストを含みまたは含まない事が

できるが、一定の波長と、各波長の光強さまたは少なくとも光強さ比率を得るように放射線を制御する機能を含む。各波長についての制御された放射線源。この方法において得られる種々の透過深さおよび予割可塑性と決定可能値との組合せによって出力をえる事により、この方法は複数波長アプローチの同時的使用の好ましい実施態様である。

第1主要アプローチの第3法は複数の透過深さを考慮し、一般に表面近くにおいて浅い透過深さを使用して硬いまたは極度に硬い硬化区域を形成して硬度の生硬さを生じると共に、深い硬化深さを利用して一般に深い柔らかい区域を単位体積あたり急速に短時間で形成する利点がある。生の三次元部品30は単一の波長のみで形成された場合よりも硬く、また与えられた状態中において対応の深い透過深さを有する。浅い硬化深さのために1つの波長を使用し、深いゲル化のために他の波長を使用する事により、形成終了と後硬化まで附える事のできる丈夫な三次元部品を形成するための時間が短縮される。これはSLAの中よりも後硬

化装置の中で重合が迅速であり安価なので有利である。後硬化処理が迅速であるのは、部品全体が1回に1断面づつ重合されるのでなく紫外線の中に全部露出されるからである。また後硬化処理がなのは光源が硬化はUVレーザでなく安価な蛍光ランプだからである。

第3法は「従来技術と問題点」に記載のような曲げ作用を減少させる。その少なくとも2つの理由がある。第1の理由は生硬さの増大により、曲げに伴うモーメントに抵抗する硬い区域が生じる事にある。第2の理由は硬い区域が形状を保持している間に柔らかい区域が収縮による応力を吸収するからである。柔らかい区域は十分な接着を確保する応力リリースとして作用すると共に内部応力の伝達を制限する。これらの内部応力が特定のレベルに達すると歪を誘発する可能性がある。

使用される2種または2種以上の波長のエネルギー比率に対応して三次元部品の特性を、非常に柔軟な部品の迅速な形成から、非常に硬い部品の非常に硬い形成まで、制御する事ができる。こ

-73-

のような広い範囲の特性、種々の硬さ比率は1つの層の一部と他の部分において変動させる事ができ、また各層の厚さについて変動させる事ができ、また特定の区域の作用において硬さと硬度のいずれが重要であるかに対応して変動させる事ができる。このようなアプローチは当業者にとっては何らかの利点を示す。

この方法の特定の実施例を第14図について説明する。第14図の2つの波長を使用し両方の波長について同等の光強さと出力とを有するとすれば、これらの波長は非常に薄い層の硬化に使用されて、約4または5ミル以下の層厚さについて、非常に浅い透過深さまたは2ミルの透過深さを生じる事ができる。E_{c1}以下の露出は大きな重合を生じることができない。他方、深い硬化深さ（従って厚い層）を得ようとする場合、E_{c2}とそれに対応の透過深さが支配的であって、前層の厚さの硬化を迅速に生じる。またこの場合、はるかに硬い固着材料区域が形成されて生硬さを増進している。前述のように、薄い層については、すぐれた硬さを生

-74-

じる小透過深さが望ましく、これにより露出エナジーによるプリントスルーの問題を最小にする事ができる。これに対して厚い層については、速い硬化速度を得るために、高い透過深さを得る。高い硬化深さを使用しても、多量の材料が固化しているので、三次元部品の硬さはなお十分である。小透過深さを有する波長の露出露出は高透過深さの波長の露出露出より低いのであるから、透過深さと層厚さとの適正な関係を自動的に得る事ができる（少なくともその可能性がある）。その結果、露出エナジーは層厚さに比例した硬化深さの硬化を生じる。この硬化深さのエナジーを層厚さに比例させる方法は、露出露出と透過深さが同一パターンに従う限りまたは3以上の波長にも拡大される。

前記の好ましいアプローチは複数のラインを同時に使用している。この第2主要アプローチにおいて複数ラインはそれぞれ単独で使用される。

この実施態様は前記と異なり原理で動作し、それぞれのラインがそれぞれ深さを有する。相異なる波長の光線は光強度22に対して選択的に下記

-75-

-254-

-76-

の数値の手法で放射される。1) 波長を超過またはその他の方法によってマルチラインレーザから選択的に得る。2) それぞれ相異なる波長を有する複数レーザビームを回折鏡によって表面23上に選択的に反射させる。3) レーザのレーザ光線発生キャビティ中のプリズム類折反射鏡の角度の変更によって単一ラインレーザを切り替える方法、および選択可能な波長を得るための類似の方法。4) その他のマルチライン放射線源または単一ライン源の適当な使用。

第1に、マルチラインレーザは前記の好ましい実施態様と同様に、しかしフィルタを追加して使用される。これらのフィルタは、単数または複数の選択されたラインを残して所定のラインを遮断する。好ましくは複数のフィルタを使用し、各フィルタが単一のラインを遮断する。これらのフィルタは、露出コマンドに対応して、制御システムによってレーザビームの中に機械的に出入させられる。あるいはこれらのフィルタを静止させ、可動鏡を有する単数または複数のフィルタを通して

マルチラインレーザビームを選択的に反射させる。このようなフィルタシステムは、示差出力変動を測定するため、同時マルチライン硬化についても使用される。各波長の光強度を測定するため、1回に1本のラインがビームプロファイラに指向される。

第2に、マルチレーザはマルチラインを生じるために使用される。ラインをせんとくするため、反射鏡が光源28を反射する位置から、相異なる波長の隣接の他の光源を反射する位置まで移動される。反射鏡は測定されたラインを表面23に反射する。

第3にレーザ光線44が選択された波長を有するように選択的に変更される。

ラインを選択する主たる利点は透過深さを選択できる事にある。これは、この章においてまた「透過深さ」に記載のような多くの利点を示す。

ライン選択は透過深さを選択する非常の簡単な方法である。これは手動的にまたは制御システム28によって実施される。波長を選択する前記の3

-77-

実施例はそれぞれ非常に迅速にまた大きな中断なしで実施された。ビームがフィルタを通過する必要から、または相異なるレーザまたは光源からビームが選路の中に移動される際の整列不良からびわが少し移動される場合、被体面のスポットの位置の移動または傾位は、さきに引例とされた米国特許第268,007号に記載の傾位補正技術によって補正される。これにより、透過深さに関する前章に記載のように、三次元部品から三次元部品へ、層から層へ、また同一層の部分から部分へ透過深さを選択する事ができる。

前記の各実施態様は、ユーザまたは制御システム28が単数または複数のラインを選択できるように結合する事ができる。同時に複数の透過深さを使用するために複数のラインが選択される場合、S.L.Aは効率の増進、生産性の増大、および曲げの減少などの利点を得る事ができる。透過深さを制御させるために、単一ラインが選択される場合、S.L.Aは最大深度および精度など、「透過深さ」に記載の利点を得る事ができる。単一三次元部品

-78-

の中に結合された場合、前記のすべての利点を得られる。

相異なる波長を単独で得るための前記の種々のアプローチのほか、また「透過深さ」章に記載のように複数波長を単独で使用する手法および利点に加えて、単独で用いられる複数波長の主たる使用法をつぎに記載する: 1) 相異なる層厚さについて相異なる波長を使用する。2) 最大速度について相異なる波長を使用する。3) 最大硬さについて相異なる波長を使用する。4) 曲げを最小限にするために相異なる波長を使用する。5) 相異なる波長のマルチパス。これらのアプローチの最初の4アプローチは前述したので、これ以上の説明を必要としない。しかし第5のアプローチはまだ説明されていないので、ここで説明する。この第5技術は米国特許第339,246号に記載の多重技術と類似である。この特許は、本特許においてさきに引例とした。最初の多重アプローチは各ベクトルについて多重走査を成した。しかし各パスについて同一波長が使用された。第1パスはほとんど

材料の層厚さを固化するものであったが、実際には固化に至らなかったで、下層に接着しなかった。第1パスに続いて単数または複数の追加パスを実施すると、少なくとも最後のパスが接着を生じ、従って硬化深さが所望の最終過硬化深さに達した。第1パスの目的は二重であった。第1に第1パスの材料が下層に接着する事なく硬化し、硬化に際して下層に曲げモーメントを加える事なく収縮できる事である。第2は、第1パスに際して硬化した材料が、保持された下層が固化する際の上向き曲げモーメントに抵抗するように作用する事である。マルチパスは曲げを最小限にするために適度に有効である事が示された。しかし第1パス中の材料硬さが著しく増大され、また/あるいは高度の重合収縮に達して、さらに露出が繼續される際にさらに硬化されて保持材料層と共に収縮する傾向を示さなければ、マルチパスの効果は大幅に増大される。このような高度の重合と硬さは、第1パスに際して低透過深さを並列地使用し、第1パスまたは後続パスの硬化を繼續を生じない限り

層の厚さにできるだけ近づくる事によって達成される。つぎに後続の単数または複数のパスは接着を生じるように深い透過深さに切り替えられる。各パスの作図深さ、および接着前の粗 Pd のパス数と接着を生じる粗 Pd のパス数を変動させる事ができる。また曲げの減少と所望の走実時間の短縮とを平衡させるために、このアプローチにおいて複数の波長と対応の透過深さを使用する事ができる。代表的には、中程度の硬さの層を形成するための透過深さは層厚さの約30%~40%である。おそらく、層厚さの約15%~25%の範囲内の透過深さは短い Pd 露出については適当であるが、30%~40%またはこれ以上範囲内の透過深さは接着を生じる露出にとって十分であろう。マルチパスを使用する際を生じる島の異形成の問題の故に、この問題を最小限にするためにスマレイを使用する米国特許第183,015号を参照されたい。この特許を引例とする。またこの島の集の問題を含む種々の量を最小限にするためにウエブまたはその支持体を使用する米国特許第182,801号を参照され

-81-

たい。これを引例とする。

この案に記載の実施態様的大部分は、放射線ビームによって、特に紫外線ビームによって硬化を実施する場合に関するものである。放射線ビームは広い範囲の電離スペクトル(例えば紫外線、可視光線、紫外線およびX線)から成るビームであり、または種々の粒子(電子)のビームであつて、材料が放射線を吸収する反応要素を有する限り、この吸収によって反応を生じて材料を液状から凝縮状態に転化させる。本発明の多くの実施態様およびアプローチにおいて、このような吸収は波長に依存したエネルギーに依存するので、複数の(少なくとも2つの)透過深さを考慮する必要がある。放射線ビームを使用する場合、このビームの光強さプロファイルが硬化パラメータを予測するために必要である。しかし均一光強さを有する所望の断面パタンの放射線フラッド放射線源を使用して各断面を露出する場合前記のようなプロファイル依存関係を除く事ができる。この均一な放射線フラッドは先にビームアプローチについて述

-82-

べたように波長、透過深さおよび相対出力に関して同様の所望の特性を有する事ができる。この均一フラッドは、前記'575特許に記載のような短アーーク型水銀灯、またはキセノン型アーク灯、またはその他種々の光源または光源組合せから発生する事ができる。放射線源には、表面全体の一露出を保証するための拡散要素が含まれる。また露出時間全体にわたって放射線源のエネルギー出力を制御するフィードバックループの一部となつて一定の光強さを保証するために、均一露出域の中に数個の光強さモニター装置(材料を硬化するために使用される各波長について1つずつの装置)が含まれる。またビームから特定の波長を除去しまた/あるいは各波長に対応の光強さある程度減衰させるために放射線通路の中に挿入される種々のフィルタが含まれる。望ましくない波長から望ましい波長を識別するために、屈折格子またはプリズムなどの検出器を使用する事ができる。さらに所望の断面パタンの放射を生じるための種々の要素を使用する事ができる。

説明のため、この章に含まれた実施態様の一部を下記に纏める。前述の好ましい実施態様は下記のカテゴリに分類される。すなわち1) 同時多重波長を実施態様、および2) 多重波長の非同時使用する実施態様。この第1カテゴリは下記の実施態様を含む。

- 1) 平衡樹脂-透過深さのみ、
- 2) 平衡樹脂-透過深さと効率、
- 3) 無制御であるが予測された特性を有する多重波長（その幾つかについては後述する）、
- 4) 制御された特性を有する多重波長。
 - a) 優れた速度と深さを得るため、
 - b) 曲げを最小限にするため。

これらすべてのアプローチは多少ともビームプロファイル予測と制御とを使用している。ビームのプロファイル能力を完全に利用するためには、予測は各波長の露出の重ね合わせに基づく。例えば、硬化深さは、露出露出の測定平均値に基づくが、露出は現存のすべての波長から勝算される。あるいは硬化深さをゲル化に必要な重合パーセン

トと各波長によって決定される重合パーセントから定義する事ができる。多重波長を使用しながらこれらの予測を成す3レベルが存在する。すなわち1) 0オーダー、この場合各波長について予測を実施し、リストから正味予測を適定する。（主予測＝正味予測）、2) 第1オーダー、この場合正味予測を作るために各波長の作用の相互作用の程度に関して簡単な仮説が作られる。および3) 第2オーダー、この場合各波長によって生じた重合度に関する詳細な計算を行い、波長の相互を考慮し、つぎに結果を組合せて正味予測を得る。この方法において、状況に対応して一部の予測は0オーダーであり、一部は第1オーダー、他の一部は第2オーダーである。

第2カテゴリは下記の実施態様を含む。

- 1) 最良の余体特性に基づく相異なる層厚さについてそれぞれ適定された相異なる波長、
- 2) 最大速度について適定された相異なる波長、
- 3) 最大深さについて適定された相異なる波長、
- 4) 最小曲げについて適定された相異なる波長、

-85-

5) マルチパス技術を使用し、小p dを使用する波長によって第1パスを実施して下層に接着する事なく高度の重合を成し、つぎに第2パスまたはその後のパスを実施して接着を生じる方法。

6) 他の任意の特性の優先のために適定された相異なる波長を使用する方法。

適定されたそれぞれの波長は、フィルタにより、レーザの波長の切り替えにより、1つのレーザから他のレーザに切り替える事により、また他の型の放射線源を使用する事によって得られる。

V. 好ましい第2実施態様

S L Aにおいて種々の透過深さを有する第2実施態様は光重合体22の変更を含む。相異なる光重合体は与えられた波長に対して相異なる透過深さを有する。相異なる透過深さが望ましい場合には、光重合体22の代わりに他の光重合体を使用する。あるいは光重合体22をそのままにして、これを処理する。

第20図は光重合体22が取り替えられる第2実施

態様を示す。前記のように容器21が光重合体22を収容する。透過深さの適定は、前章「透過深さ」に記載の原理に従ってユーザまたは制御システム28によって実施される。他の透過深さが選ばれた時、エレベータ29が容器21の上端の上方にくるまでZ方向に持ち上げられる。

同時係属特許第240,389号およびPCT、EPO特願第188/189号に記載のように、三次元部品30上に液体をあふれさせた後に、ドクターブレード410を使用して光重合体22を表面33まで引き落とす。従来のS L Aにおいてはドクターブレード410が容器21に対して固着されていた。これは容器21の取り替える邪魔になる。しかし本発明においてドクターブレード410はS L Aのフレームに取り付けられ、このフレームに対してエレベータ29を取り付けられる。これは容器21の取り替えるを簡単にする。容器21はしばらくエレベータ29の下方にあり、このエレベータ29から落ちる光重合体22の滴を捕集する。

オプションとして三次元部品30を光重合体層の

中に浸漬させて、三次元部品に付着した余分の樹脂を容器21から除去する。

容器21はホイール412と414を有する。この容器21を駆動させて移動する。別の光重合体422を保持した容器421が容器21の代わりにエレベータ28の下方に駆動する。光重合体422は選定された透過深さを有する。エレベータ28を421の中に降ろすと、三次元部品30が光重合樹脂422によって覆われ、三次元部品は表面423から1層の厚さだけ下方に配置される。ドクターブレード410が光重合体422をレベル423まで引き落とす。

三次元部品30は容器21の取り替え中、エレベータ28に取り付けられたままである。層30dが最後に形成されたのであるから、光重合体422の面423において三次元部品のつぎの層を形成する事ができる。容器21と容器421との交換は、別の透過深さが望ましい場合に、光重合体22を取り替える迅速簡便な方法である。

第21図は光重合体22を他の光重合体422と交換する他のシステムを示す。別の透過深さが望ましい

場合、ポンプ440が光重合体22を容器21からくみ出して、ホース442を通して保持タンク441の中に送る。つぎにポンプ444が別の光重合体422を保持タンク448からくみ出して、ホース452を通して容器21に送る。この光重合体取り替えシステムは制御システム258によって制御されるコンピュータによって容器に制御されて別の透過深さを得る事ができる。

第22図は光重合体22を取り替える他のシステムを示す。このシステムは光重合体22を取り替えるのではなく、別の透過深さをなえるように処理する。与えられた光重合体22は別のDp値を有するように変更する事ができる。例えば光重合体22に対して光重合開始剤を増加すれば、光重合体22の各レベルにおいて吸収される光の量44が増大し、Dp値が低下する。低い透過深さが望まなければ、光重合開始剤タンク402から光重合開始剤350を容器21に追加する。高い透過深さが望まなければ、樹脂タンク404が樹脂408を容器21に加えて、光重合開始剤350の濃度を低下させる。

-89-

下記は材料を変更する実施態様のまとめである。

- 1) 前記の多量被覆を使用する実施態様と同様、
- 2) 三次元部品の形成段階間の樹脂切り替え、
- 3) 三次元部品の形成中の樹脂切り替え、
 - a) 三次元部品をストリッピングしない場合、
 - b) 三次元部品をストリッピングする場合、
- 4) 樹脂に対して他の要素を追加する方法。

各樹脂パラメータファイル（各樹脂につき1つのファイル）と共にビームプロファイラを使用する事ができる。

-90-

VI. ビームプロファイラ

前記の各実施態様に対して本発明の他の特色を実施する。すなわち硬化パラメータを予測するために樹脂パラメータと共にビームプロファイル情報を使用する。一般に、レーザビームのプロファイルまたは断面強度は一定でない。これは標準的立体平板技術の実施に際して成されるように、ビームがスポットに集束された場合にのみ真実である。例えばレーザビームの中に強度は中心部で最も高く、中心部から遠ざかるほど低くなる。ビームのプロファイル特性を種々の樹脂パラメータと共に考慮に入れば、前記の実施態様の種々の特性を増進しまたこれらの実施態様の追加的利益を生じ、またそのために必要である。さらに、またビームプロファイル情報と種々の樹脂パラメータとの組合せは、前述のSLAの単一波長アプローチを自動化するための強力な手段である。

ビームプロファイリングは同時偏光特性S. N. 268,818号に記載されている。この特許は本特許の一部継続特許である。この引用特許を引用として

加える。

第7図は光ビーム44の断面方向に見て表面23上のスポット27内部のビーム光強さ(ビームプロファイル)の簡単な座標図を示す。この実施例において、単位面積当りビーム電力(光強さ)はビームの中心からの半径方向距離の関数である。中心150は光強さが最大の部分である。この区域において光強さは一定であって I_{max} を有すると仮定される。リング151と152の間の区域は中心150より幾分低い光強さを有する。この区域の光強さが均一で I_{max}/α を有するものとする。リング152と154の間の区域も一定であるが前の区域より低い光強さを有する。この一定の光強さは I_{max}/α^2 である。一般に、ビームの幅は、その光強さが I_{max}/α^2 以下に落ちた時のビーム直径と見なされる。従ってこの実施例の場合、ビーム直径はリング154と見なされる。リング154と156との間の区域も均一強さ I_{max}/α^2 を有すると見なされる。

第8図は第7図の8-8線に沿ってとられた光強さ I の棒グラフである。中心150は棒160によつ

て示される最大光強さ I であつて、ビームが時間 (t) 単一点に露出された時の最高露出(光強さ $(I) \times$ 時間 (T)) の得られ点である。x 軸線は第7図の8-8線に沿った位置を示す。同様にリング152はそれぞれリング152の右側と左側の棒162aと162bによって示されるつぎに高い光強さ区域を含み、またつぎに多い露出量を示す。同様に棒164aと164bはリング154を横断する光強さを示す。最後に棒166aと166bはリング156と線8-8との交点の強さを示す。

第8図の棒グラフはビームのそれぞれの放射方向位置における表面23の光強さ I_0 を示す。光強さ分布によつて生じる露出は、露出時間とビームが液体の表面に当たって移動されるかいかに依存している。ビームが静止していれば、その位置における露出は単にその位置の光強さ \times 材料放射時間である。この実施例において、光強さは放射方向距離の関数であり、従つて露出はこの放射方向距離関数 \times スケールファクタとなる。第8a図はこの露出を相対ユニットととして示す。移動する

-83-

ビームの場合、露出/光強さの相互関係は幾分複雑になる。種々の光強さ区域を有するビームによつて速度 v で横断される点における露出は、その点を横断する各光強さ区域の光強さ \times 各光強さがその点を露出する時間の累計である。例えば、ビームの中心が線 l に沿つて速度 v で移動し、ビームの一部が点 (p) に交わると思はれば点 p に与えられる露出は下記の式によつて表される。

$$\begin{aligned} \text{露出(点 } p) &= \text{Sun} \{ I(n) \cdot W(n) \} / v \\ &= (I(160) \cdot W(160) + I(164) \cdot W(164) + \\ &\quad I(162) \cdot W(162) + I(166) \cdot W(166)) / v \end{aligned}$$

ここに、 $I(n)$ は区域 n の光強さ、 $W(n)$ はビームがライン l に沿つて走査する間に点 p と交わる区域 n の幅、また v はビームの走査速度を示す。点 p がライン l から第7図のライン150の半径内部(区域100内部)において移動する場合、すべての光強さ区域がこの点における露出に貢献する。各区域の $W(n)$ 値は非零である。点 p が線 l から半径150と152の間の距離をもつて離開すれば(区域162)、外側の3区域のみが露出に貢献する。

-84-

その場合すべての $W(n)$ 値は $W(160)$ 以外は非零である。同様に、点 p が線 l から半径152と154の間の距離をもつて離開すれば(区域164)、外側の2区域のみが露出に貢献する。この第3の場合、 $W(164)$ と $W(168)$ のみが非零である。最後に、点 p が線 l から半径154と156の間の距離をもつて離開すれば(区域166)、外側の最外側区域のみが露出に貢献する。この最後の場合、 $W(168)$ 値のみが非零である。第8b図は、線 l から相異なる放射方向距離に配置された一連の点に沿った相対ユニットにおける露出を示す。走査による露出(この型のプロファイルの場合)は、相異なる放射方向距離における相対露出の幅を狭くする傾向がある。

第9図は第8a図と、第7図の8-8線にそつた光重合体22の断面とを並置した図である。この断面は第3図と同様の同一時点(静止ビーム)によつて得られた区域84の拡大図である。第3図に示すように、第9図の区域84は表面23の下方向距離 P_d まで光重合体22をゲル化するに必要な境界露出

E_cを受けた時点を示す。

第10図はこれより後の第4図と同一時間にとられた図である。この時点において区域86は境界露出E_cを受けてゲル化した状態にある。区域84はE_cよりはるかに多量の露出を受け、一層凝縮性の重合体に重合している。

第11図はさらに後でとられた図であって、第5図と同一時点である。この場合、区域88は凝縮露出E_cを受けてゲル化している。区域86はE_cより多量の露出を受け、さらに凝縮性の重合体である。区域84はE_cより非常に多量の露出E_cを受けているので、はるかに硬い重合体である。

式 $E(d)=E_0/e^{4/\rho^2}$ を使用して、露出露出が到達した深さを計算する事ができる。第9図、第10図および第11図のx軸線に沿った各位置において、この深さが少なくともゲルに固化した状態の光重合体22の形状を決定する。この形状の底部174は、光重合体×時間(露出)が最大となった中心における最深部(最大d値)である。實際上、この底部174は、これらの図の棒グラフによって示されたよ

りは、丸くなるに違いない。実際のプロファイルにおいて光重合体は中心150から外側リング150まで連続的に変動するからである。

下記は、底部174の形状およびサイズを求める計算例である。表面露出E(0)によって生じた硬化深さdを決定するため、深さdは露出がE_cまで落ちた深さでなければならない。従って既知の露出露出値から、硬化深さを下記のように決定する事ができる。

$E(d)=E_0/e^{4/\rho^2}$ であり、また $E(d)=E_c$ であるので、 $d=1/p \cdot \ln(E_0/E_c)$ が得られる。

例えば第6図の作動曲線において、 $E(0)=18$ ミリジュール/cm²であるので、透過深さは7.0ミルであり、また第7図の半径150(第8図の区域160)中の光強さに対して $E(0)=258$ ミリジュール/cm²とすれば、下記の硬化深さdが得られる。

$$d = 7.0 \cdot \ln(258/18) \\ = 19.4 \text{ ミル}$$

従って、底部174は表面23のスポット27の中心150の下方19.4ミルに存在する。もしE_cをX-Y軸

-97-

線の関数として得られるならば(E_cを一定とする)硬化深さE_cdをX-Y位置の関数として決定する事ができる。

第6図に見られるように、作動曲線は一定の最小硬化深さまで連続線としてプロットされ、この点より下方の硬化深さにおいて、曲線は破線である。このような曲線は一般に第10図に図示のような小物体を形成する事によって得られる。このような物体は数本(一般に5本乃至9本)のストリングを有し、各ストリングが既知の相異なる露出によって作られる。これらの露出は通常2つの相異なる露出のファクタとして決定される。これにより、広範な硬化深さと露出を少数のストリングによってカバーする事ができる。これらのストリングは一般に2つの方法のいずれか一方によって作られる。第1法は、既知のプロファイル、既知の全出力および既知の走査速度を有するビームの1回の走査によって各ストリングを作図する。これらのパラメータから、最大露出ラインとこのラインでの露出量を決定する事ができる。第2法は、

-99-

-98-

複数の少し片寄ったパスを使用して各ストリングを作図するにある。これらのパスの数は、各ストリングのビームの幅より幾分広い均一露出区域を生じるのに十分である。これらの均一露出区域のそれぞれの露出量は、ビームの全出力、カバーされる区域のサイズおよびこの区域の走査時間から決定される。均一露出区域は均一露出区域を生じる。この均一硬化深さ区域の存在により、走査パラメータを合理的に最適化する事ができる。いずれの場合にも、各ストリングの既知の露出区域から硬化深さを決定する事ができる。これらの硬化深さをそれぞれ露出の自然対数に列してプロットする。好ましい樹脂はペールの法則に(特定範囲において)従うので、これらのプロットの形成する直線から、その傾斜(透過深さ)とX-Y交点(露出露出)とを決定する事ができる。これらのストリングは粘性材料中において形成されるので、光重合体の容器から一体を成して除去される程度の最小限凝縮度を有しなければならない。各樹脂は与えられた硬化深さ(露出の特定の波長)に対

-260-

-100-

して相異なる遮蔽厚さを有するので、各側面はこれから（合理的条件で）除去されるストリングの相異なる最小厚さを示す。合理的条件とは、自重による最大歪に対して設定された許容歪に関連する。前記の最小厚さは、側面に關する数要因に關連し、これは使用される波長に対するその透過深さ、その粘度、樹脂を包圍する導電剤などである。この最小厚さは最小有効正味露出を示したものとみなす事ができる。曲線の破線部分は、ゲル化材料が樹脂から除去される区域を示す。この曲線部分は露出露出と最小露出としての幾分大きな露出との間の露出値に対応している。曲線の破線部分は、ストリングが形成され除去される区域を示し、従って露出がその最小値を越える区域を示す。

正確な硬化深さを予測を成すため、ピーク露出の正確な測定を必要とする。静止ビームの場合、これはピーク強さの正確な測定に対応する。走査ビームの場合、これは走査方向に対して平行に光強さ要素サイズによって測定された光強さ要素の合計に対応する。一般に、ピーク光強さを含むラ

インは最大硬化深さを生じるラインである。走査ビームによって生じるその正味露出は、静止ビームの場合よりも、ピーク光強さの振幅変動の影響を受けにくい。しかし、これらのアプローチのいずれも光強さプロファイルとピーク光強さ値の相対的に正確な知照を必要とする。第7図において、リング150の中の光強さがピーク値に等しい一定値を有すると仮定した。これは合理的な仮定であったかも知れない。そうでなかったかも知れない。リング150の中において、ピーク値とされた平均値より大またはより小の光強さ値を有する小区域があったかも知れない。この値がピーク値である事について過しているとすれば、過小評価された各係数2について透過率の70%までを減少させる事ができるかもしれない。例えば第7図において、プロファイルは4区域に分割され、各区域が相互に係数 ϕ または $1/\phi$ をもつて相違している。第7図に示すのビームサイズと各区域の面積とエネルギーとから、下記の表が得られた。

-101-

区域	全面積の%	光強さ	全出力の%
100	7.4	$I(\max)$	35.1
102	22.4	$I(\max)/\phi$	39.1
104	22.0	$I(\max)/\phi^2$	14.6
108	47.3	$I(\max)/\phi^3$	11.2

前記の表から、順次に中心に近いリングを知らなくても、ピーク光強さを得る事ができる。またこのアプローチによって硬化深さの中に導入される誤差の量を予測する事ができる。

ピーク区域	全面積の%	光強さ	C.D.の誤差
100 + 102	29.8	$52.5\% I(\max)$	70% Dp
100 + 102 + 104	52.7	$35.4\% I(\max)$	103% Dp
100 + 102 + 104 + 108	100	$21.1\% I(\max)$	155% Dp
+ 164 + 106			
+ 164 + 166			

前記の表は、最大光強さの適正な測定が硬化深

-102-

さに対して有する重要性を示す。適当な硬化深さを保証するためには、ピーク光強さ点に近い単位長さあたりの光強さ変化率に対して比較的小さな面積の要素を測定しなければならない。サンプルのサイズを十分に小さくする一つの方法は、プロファイル測定を実施し、ピーク光強さ値が数区域（セル）においてほぼ同一となるようにするにある。均一離間セルのグリッドを使用し隣接4セルがほぼ同一の最大露出値を生じるならば、ピーク光強さが適正に発見されたとみなしても安全であろう。もしこれ以上の安全余裕が望まなければ、ピークと思われるセル包圍する9個またはこれ以上の隣接セル（ビームが幾分放射方向に対称的であり単一のピークを有するとすれば、正方形形状のセル）を見て、これらすべてのセルの比較的平均値を得る事ができる。幸いにして、走査ビームによる露出はピーク強さの偏差に対してはるかに敏感でないで、一般にピーク値のある程度の誤差があっても問題ではない。

立体厚版技術について好ましい材料は一般に光

-103-

-261-

-104-

る熟度の硬化深さ/透過深さの組合せまでペールの法則に従う。すなわち、特定の硬化深さまで硬化するために有効な透過深さについて、樹脂はこの硬化深さを越えるまでペールの法則に非常によく従う。例えば、イリノイス、デブレヌのデソト社製のSLR-800を厚さ約5または10ミル〜約30ミルの層について使用すれば、325 nmの波長で硬化した場合に約7ミルの透過深さを示す。この範囲内において樹脂はペールの法則によく従うが、約40ミルの硬化深さにおいて、材料は指数減衰則によって予測されるより速い吸収を開始する。

硬化深さがゼロとなるX-Y位置を決定する事によって硬化幅を決定する事ができる。これらの遷移点によって形成されるパターンが硬化した材料の幅(X-Y寸法)を決定する。与えられた区域によって露出が臨界区域より低ければ、前記の式を使用すればゼロ硬化深さと解釈される負の硬化深さを生じる。ビームプロファイルと硬化深さを使用して硬化幅を決定する際には、臨界露出よりも最小露出E_mに基づいて硬化深さを決定する方

が正確である。硬化深さを考慮する際に、臨界露出より少し高い露出は有効な固化材料を生じない。同時に、硬化幅を考慮する際に、臨界露出に近づくに従って、有効な固化材料が与えられない。ビームと走査技術を使用してE_mの近くで高露出から低露出への急激な遷移を生じるならば、E(e)を使用して予測される硬化幅が適切な結果を与える。しかしビームと走査技術を使用してE_mの近くで高露出から低露出へ薄い空間遷移を生じるならば、E_mを使用して予測される硬化深さの方がより正確を与える。

硬化幅の正確な予測を成すためには、予測される硬化深さを決定しようとする領域の少なくとも約2倍に近い空間間隔における光強度密度値から成る角頻スペクトル情報を持つていなければならない。

前記の実施例の大部分は静止ビームによる露出に基づくものであったが、表面露出の精度が1度とされると、硬化深さと硬化幅の精度の幾何学的関係はビームが静止していても走査していても同様

-105-

である。

臨界露出E_cを減少させ、またE_mを一定に保持しながら透過深さD_pを増大させると特定の時点において底部174の形成される表面23の距離dを増大させる。その量は式 $E(d)=E_c/e^{d/P}$ によって予測され、この式において、 $E(d)=E_c$ とする。特定の表面露出E_cと特定の臨界露出を保持しながら透過深さD_pを調節する事により、各区域での底部174の深さを調節する。またこれにより、区域88の彫蝕プラスチックと区域88のゲルとの間の遷移深さ172を変更する事ができる。同時に区域84の非常に可塑性のプラスチックと区域88の彫蝕性プラスチックとの間の遷移深さ170を調節する事ができる。またこれらの遷移深さは前記の式においてE(d)の代わりに $E_c \cdot e^{d/P}$ および $E_c \cdot e^{-d/P}$ をそれぞれ置換する事によって容易に決定する事ができる。曲線174、172および170は固化材料の実際の物体に対応しないと思われる。ビーム強さの不連続が存在しないと思われるからである。

透過深さを調節する事により、従って部分的に

-106-

固化したプラスチックの各区域の位置を調節する事により、ゲル化材料の全体重合パーセントを変更させる事ができる。従ってゲル化材料の全体生硬さも変更される。このような全体生硬さの変更により、また固化材料層の厚さを通しての重合延在グラジエントの変更により、この厚さの材料が曲げモーメントに抵抗する能力が変更される。与えられた硬化深さに対して透過深さの増大は重合パーセント、生硬さおよび曲げモーメント抵抗を低下させる傾向がある。しかし間隙の硬化深さに対して、透過深さの増大は重合パーセント、生硬さおよび曲げモーメント抵抗を増大する傾向がある。

要約すれば、第7図よりもさらに詳細なビームプロファイルを使用すれば、底部の形状と遷移をさらに正確に予測し制御する事ができる。走査ビームから正確な予測を成すためには、与えられた点における正味露出を決定するためにこのビーム運動を考慮しなければならない。1つの点における正味露出は、点Pを通り走査方向に対して平行

-107-

-262-

-108-

な線に沿ってとられた各要素の露出の合計である。従って露出が正確に決定されるならば、有効硬化深さと硬化割合を得る事ができる。

米国特許第4,575,330号に記載のように、SLAの中の放射ビームは光重合体22の表面23に沿って走査して1つの層を硬化させる。第7図のダイヤグラムは光ビーム44の強さプロファイルを示す。もしこのビームが第8a図に図示のように静止していれば、このボタンに露出時間を付けた値はこのような静止ビームの露出ボタンを示す。しかし代表的なSLAの中の光ビームの運動の故に、第7図の光強さボタンは第8b図と類似の露出ボタン生じ、これは区域150の中心に対応する運動道路の中心における最高露出棒グラフを示す。またこのダイヤグラムは、静止ビーム露出の場合よりも、中心からの距離に伴って相対露出の急激な低下を示す。実際に使用する場合は、レーザビームの断面の強さグラジエントは線線ではなく連続線である。従って前記の例において、運動するビームの実際のボタンは、運動道路の中心に近い最高露出から

外周線の最低露出まで増減する。

走査レーザビームにおいて、全体露出は部分的に運動速度を制御する事によって制御される。与えられた点における露出は走査速度に逆比例する。

本発明のSLAにおいては、ビームプロファイルは同心でなくともよい。例えば、最高光強さが中心からはずれ、または実際に複数のピーク光強さ区域が存在してもよい。静止ビームの二次元光強さプロファイルは同心でなくともよいが、ビームを種々の方向に走査する事によって得られる一次元光強さプロファイルが類似の特性を有する事が極めて望ましい。これらの一次元プロファイルが走査方向に関わらず同等であっても、その1つに対して対称的である事が極めて望ましい事はもちろんである。つぎに走査ビームが走査方向に関わらず、厚さの10%および公称値の10%の許容差以内で類似の硬化深さと硬化割合を生じることが望ましい。これにより走査方法とは独立に、システム中に使用される露出パラメータを決定し制御する事が可能となる。ビームがこれらの要件を

-109-

満たさなければ、これらの要件を満たすようにレーザおよび/または光学装置を調節する。この要件があまりに負担になれば、相異なる走査方向の間の差異を調節するため、これらのビームプロファイル特性を露出制御システムの中で混合する事ができよう。

下記の表1は実際のビームプロファイルの1例であって、それぞれの数が測定点グリッド中の表面照強さI0を決定する。

0	0	1	0	0
0	1	2	0	0
1	2	8	3	1
0	3	11	2	0
0	0	2	1	1

表-1

各点における光強さはその点における出力であって、これは決定された数（各点の値の合計がビームの実際の全出力に相当されるように正規化を必要とする）を各点によって示される面積に割つ

-110-

た値である。ビームが図の左から右側に一定速度で移動する場合には、数の列を左から右に加算してこの列の正味光強さ値を決定する事によって、このプロファイルの露出ボタンが決定される。この正味光強さ値に、1つのセルの長さで横断する時間を掛ける。このようにして、各列の合計値を右側の列の対応数字として得た。

0	0	1	0	0	1
0	1	2	0	0	3
1	2	8	3	11	15
0	3	11	2	0	16
0	0	2	1	1	4

表-1a

ところで、倉庫化定数を1とし、1つのセルを横断する時間を1とする。従って右側の列の数字は、指示された方向に走るビームによる露出（および合計光強さ）を示す。この運動によって横断された水平スワスは第12a図において露出ボタンを示す。ストライプ208が最高露出を有し、またス

ストライプ204がこれより低い露出を示す。これらのストライプ206と204の上下において露出は急激に減衰する。これらのストライプ露出は各ビームプロファイル露出を左から右に加える事によって与えられた比例関係にある。

E 200: E 202: E 204: E 206: E 208: :

1:3:15:18:4

前記の表1 a のE水平合計がミリジュール/cm²で現した各ストライプの露出とすれば、第12 a 図の垂直道路の硬化深さは式E(d)=E₀/a^{4/3}を用いて決定する事ができる。硬化深さは境界露出E_cに丁度到達した深さである。透過深さを7.0ミルとし、境界露出を2mJ/cm²とすれば、露出E₀が15mJ/cm²となるストライプ204の硬化深さは下記の式によって与えられる。

$$d = D_p \cdot 1/ \sim (E_0 / E_c)$$

$$= 7.0 \times 1 \sim (15/2) = 7.0 \times 2.0 = 14.0 \text{ ミル}$$

従ってストライプ204下方のゲル化区域の底部は表面23の下方14.0ミルとなる。

同様に、表1のプロファイルを与えるビームが

-113-

算する事によって下記の表に示されたようになる。

0	0	1	0	0
0	1	2	0	0
1	2	8	3	1 /0
0	3	11	2	0 /2
0	0	2	1	1 /5
				/12
				/14
				/8
				/0

この運動によって描かれた対角線道路は第12 c 図に示された露出パターンである。セルの傾は、固定点の間隔が小さいので、係数1/√2だけ変化している。露出を決定する際にこの係数を考慮に入れなければならない。ストライプ228が最高露出を有し、ストライプ228がこれより少ない露出を持つ。これらのストライプ228と228の両側において露出は急激に減衰する。これらのストライプ露出

両側の上から下に向かって一定速度で移動するとすれば、表面露出は下記の表1 b のように表裏露出E₀の値の列を合計する事によって得られる。

0 0 1 0 0

0 1 2 0 0

1 2 8 3 1

0 3 11 2 0

0 0 2 1 1

1 6 24 6 2

表 1 b

この運動によって模範されるスワスは第12 b 図に図示の露出パターンを示す。このパターンは指対称的であって、スワスの中心ストライプ214が最高露出を有する。5ストライプの露出は運動速度に対応して下記の比率の値を有する。

$$E_{210}:E_{212}:E_{214}:E_{216}:E_{218}::1:6:24:6:2$$

同様に、前記のビームの走路が図面の右下に向かって対角線的に移動する場合には、露出パターンは表面露出E₀の対角線方向に配列された値を加

-114-

は、図面の左上が右下に各露出を加える事によって下記の比例関係にある。

$$E_{220}:E_{222}:E_{224}:E_{226}:E_{228}:E_{230}:E_{232}:E_{234}:E_{236}$$

$$0:0:6:14:12:5:2:0:0$$

この実施例において、外側のストライプ220、222、234、および236はそれぞれゼロ露出を受けるので、第12 c 図は他の5ストライプに限定される。先に述べたようにこれらのストライプはレーザービームの走路に沿った連続的露出変化の段階的表示にすぎない。

前記の光強プロファイルおよび対応の光強プロファイル合計値は、最大合計光強と最大値の両側のプロファイルの対称性および全体ビーム幅に関してある程度異なった結果を与えている。従ってこのような分布は二、三の点を指示するためには役立つが、SLAが走査方向によって露出の変動を補正するためのソフトウェアまたはハードウェアを有しない限りSLAの中に使用するに

に既述できる。例えば第8図のグラフについて、特定の硬化深さを得るためには特定の露出が必要である事を述べた。必要露出 E と、レーザー出力 L 、 P と、最大走査速度が既知であれば、最近(最小)スキンプイルベクトル間隔(片寄り)を確定するために下記の式を使用する事ができる。

$$\text{最小間隔} = L \cdot P / (E \times \text{最大速度})$$

例えば、5ミルの層厚さを有し対応のスキンプイル深さを得ようとするなら、第8図のグラフに示されるように、約32mJ/cm²である。使用されるレーザーの出力が全出力20mWのビームであって最大走査速度が毎秒32インチ(81cm/秒)とすれば、最小フィルベクトル間隔は、 $0.020 / (0.032 \times 81) = 0.0077 \text{cm} = 3 \text{ミル}$ となる。ビームの光強さプロファイルに対応して、この最小限ベクトル間隔またはさらに大きな間隔を使用して合理的に均一な硬化深さを得る事ができる。他方、最大併進速度が毎秒100インチ(254cm/in)で

ありレーザー出力が400mWとすれば、同一硬化深さに対する最小ベクトル間隔は $0.100 / (0.032 \times 254) = 0.123 \text{cm} = 4.8 \text{ミル}$ となる。約10ミルのビーム直径の場合、この最小ベクトル間隔は均一硬化深さの区域を生じるために若干の困難を伴う。所望の均一性を得るためにこの最小ベクトル間隔が大きすぎれば、これより小さい最小値を使用できるように前記の式のパラメータの1つを変更しなければならぬ。特定の硬化深さに対して大きな露出を得るため、レーザー出力を減少させるあるいは波長または材料を変更する事ができ、あるいは最大走査速度を増大させる事ができる(留置の損失を作つて)。さらに、これらのパラメータは変更を必須とするのみならず、これらの変更を成す性能をシステムの中に組み込む事ができる。例えば、三次元部品の形成中に、レーザーから走査線まで走るビーム通路の中に補償装置を挿入する事によってレーザー出力を調整する事ができる。この補償装置はコンピュータ制御によって必要に応じて挿入または引き出す事ができる。この補償装置は、ビ

-121-

ーム通路の中にどの程度挿入されるかに従って相異なる不透明度を有する事ができる。この方法は、単一の不透明素子が使用される場合のように形成速度の過度の損失を生じる事なくベクトル間隔を十分に短縮せる事ができる。他の方法は、S L A 500上に使用されるSpectra-PhysicsまたはCoherent Argon Ion レーザを使用するなどしてレーザーの放射(従つてその出力)を直接制御するにある。さらに他の方法は、相異なる作動曲線、従つて相異なる露出を得るため、一部の波長のエネルギー出力を増減するフィルタを使用するにある(多色波長レーザーが使用される場合)。他の方法は、レーザーの放射線をその種々の波長間において切り替えて最良波長を使用する自動的方法および装置である(前記のアルゴンイオンレーザーの切り替えはレーザー通路内部においてプリズム角度を変更する事によって可能である)。前記の考察から明らかのように、スキンプイルベクトルの間隔はビームプロファイル特性を使用する事によって最適化する事ができ、また必要ならば一部の形成パラメー

-122-

タの変更あるいはこれらのパラメータの自動的制御と変動を使用できる。

特定の露出の結果、特定の硬化深さに達する。従つて、硬化される区域の与えられた幅をカバーするフィルベクトル数を増大すれば、同一の露出を得るためには走査速度も増大しなければならぬ。従つて、与えられた硬化深さと、与えられた使用波長と、与えられた使用層厚に対して、その区域を所望の深さまで硬化させるに必要な露出量がある。この区域をカバーする与えられたレーザー出力およびベクトル数に対して、所望の露出量を生じるに必要な走査速度がある。

ビームプロファイラを使用して得られる本発明の多くの追加的改良と改善がある。

第1に、本発明におけるビームプロファイラはパンジョウ・トップを使用して露出露出 E と透過深さをさらに正確に確定する事ができる。パンジョウ・トップから透過深さと露出露出 E を得るに必要な露出量をさらに正確に知るためビームプロファイラが使用される。基本的に関連さ

を測定すべきストリング部分の表面露出E0をさらに正確に測定することができる。第18b図の例は、各ストリングの底部が均一深さであるべき事を示す。これは、ビームの光強さを均一とみなしたからである。一般に露出が均一でないで、これらのストリングは一般に湾曲した底部を有する。最大深さ区域は最大露出区域に対応する区域である。例えばビームプロファイラは使用されたビームが表16aのプロファイルに近接する事を見いだす。ビームが道路334に沿って付図の下方に走査するとすれば、ストリング338の断面(シルエット)は表1bの合計値に基づき変動深さdを有する。ストリング338の断面の中心は、その縁部分より多くの露出を受けているので、最も深い。ストリング338の最も深い部分が他の部分より近接しやすいので、測定される。表1bにおける合計値24はストリング338の最も深い部分、すなわち中心に対応する。表1bに図示の様に、ストリングの中心の1/5は全露出の24/39を受ける。ストリング338に加えられる表面露出E0が $10\mu\text{J}/\text{cm}^2$ とすれば、ストリング3

-125-

またビームプロファイラは多重波長域と共に使用されて、パンジョウ・トップの作製と樹面特性のみに基づいた硬化パラメータの予測の必要を減少させる。これは、使用される各波長についてそれぞれ別個のビームプロファイラを作製し、このような各波長についてのプロファイル情報をその波長に対する樹脂特性と結合して使用する事により実施される。例えば各波長は、異なる臨界露出と透過深さを有し、これらを考慮しなければならぬであろう。各波長による硬化貢献度を決定する事ができる。そこで各貢献度を比較して、どの貢献が考慮される硬化パラメータ(例えば硬化深さ)を支配するかを見る事ができる。1つの波長が硬化パラメータを支配していれば、これをそのパラメータの唯一の支配波長とみなす事ができる。しかし、支配的波長が存在しなければ、硬化パラメータを予測するたのアプローチを使用する事ができる。例えばガラス材料を生じるためには一定度の重合が必要である。従って各波長に対応する硬化率を使用する代わりに、各単位体積

-127-

36の中心1/5は $(24/38) \cdot 10\mu\text{J}/\text{cm}^2$ または $8.15\mu\text{J}/\text{cm}^2$ を受ける。この単位面積あたりの露出量を、作動曲線のプロットのため、または硬化深さの確定のため、E0として使用する。

第2に、本発明におけるビームプロファイラはパンジョウ・トップを必要とする回数を低減させる。与えられた重合体およびレーザ(単一波長)に対して最初のパンジョウ・トップが作製されると、光強さの変動を補正するためにビームプロファイラが使用される。ビームプロファイラが使用されなければ、パンジョウ・トップを頻りに作製しなければならない。ビームプロファイラを使用して、各波長の光強度変化を測定し、これに対応してビーム走査速度を変更する。ビームプロファイラは硬化深さと硬化率を予測するに必要な情報を与える。既知の透過深さと臨界露出を有する樹脂について、ビームプロファイラが制御システム28によって硬化深さと硬化率とをかくていするので、パンジョウ・トップは必要である。

-126-

についてすべての波長によって構築された重合度を測定し、この重合度から各単位体積の硬化特性を決定する事ができる。

第8に、第23図は本発明においてビームプロファイラが正確な縁形成を可能とする事を示す。本発明の主たる特色は、硬化深さと与えられた露さに対応する硬化率とを決定するにある。ビームプロファイルを考慮して硬化の深さと率を決定するために前記のような多数のガイドラインが存在する。

第23図は、光重合体22から形成されている三次元部品30のデザイン線610を示す。このデザイン線の右側に三次元部品30があり、左側に未硬化重合体22があり、この重合体は容路21の中に配置されている。デザイン線610は、コンピュータ支援デザインが希望の三次元部品30と未硬化重合体22との間の非水境界を有する箇所である。光44のビームプロファイルは均一でないで、硬化深さと硬化率はデザイン線610において均一でない。異なる割合のビームは下向きに水平面に沿って硬化深さ

-128-

を平坦にする事ができるが、垂直線の形状を修正する事ができない。

第23図はこの問題を解決する二、三の好ましい手段を示す。これらの手段は、所望の仕上げに従ってユーザまたは調整システム28によって測定される。

デザイン線810を得るためサンド目立てまたはサンドブラスト目立てによって三次元部品30の縁を仕上げる場合には、オーバーサイズ構造820を決定する事ができる。通常822は、図面に対して垂直方向の最後の光パスにおいて硬化された光重合体22の形状を示す。形状824は、前記の層828の最後のレーザパスにおいて硬化した光重合体22の形状を示す。前の層828は、層826が形成されていた時の面88とほぼ等長であった。これらの区域830と832をサンド除去して、デザイン線810を有する三次元部品30を残さなければならない。形状822の底部は前の層828の下方に盛れ下がつて層820に固着し、隣接に形状824の底部は前層820に固着している。前の層の上に固着するための材料が存在しなければ

ば、形状824は1層の厚さに硬化するであろう。層824と828が異なる深さまで硬化したとすれば、これらの層は異なる幅を有し、従ってそれぞれの層の縁または中心が適正位置に配置されるにはそれぞれ異なる片寄り量を必要とするであろう。硬化深さと硬化幅はビームプロファイル幅と樹脂特性とを利用して予測する事ができるので、硬化幅についての適当な補正を決定する事ができる。

下層構造840は、デザイン線810を得るために三次元部品30の縁をフィリングによって仕上げる場合に適定される。形状842と844はそれぞれ三次元部品30の層848と848に対する光パス44によって硬化した形状である。三次元部品30が容器21から除去される時に、区域850と852は硬化した重合体を有しない。従ってこれらの区域850と852はデザイン線810を作るために充填されなければならない。その一つの方法は三次元部品30が硬化領域の中に配置される前にこの三次元部品の上に光重合体22を塗し込むにある。その方法は米国特許第268,428号に記載されている。

-129-

三次元部品30の縁に塗装または被覆する際には、下塗り構造860が適用される。形状862と864は、本図的にデザイン線810の右側一定距離において硬化される。選ばれた間隔は平均厚さの塗料を塗装される。その方法は米国特許第339,246号に記載され、これを引例とする。

最小限の三次元部品後処理のために平均構造880が選ばれる。三次元部品30の多くの用途において、デザイン線810が得られない場合にこの平均構造880が好ましい妥協的方法である。

第24図は前記の構造をデザイン傾斜710に応用した場合を示す。状況に応じて、境界ベクトル（外側区域と内側区域の境界のベクトル）の種々の移動の可能性がある。これは、境界を成す面の傾斜、実施される後処理の型、および主として硬化深さに依存している。従って、特に片寄りが自動的に成される場合、適当な片寄りを決定するためにビームプロファイルの決定が最も重要である。

第4に、本発明の中にビームプロファイルを使用すれば、与えられた硬化深さに対する最小傾角

-130-

度(MSA)の計算が容易になる。MSAは三次元部品30のある任意適当な面が未硬化光重合体22を露らす事なく水平面から傾斜される最小角度である。三次元部品30は、その容器21から除去される前に、後硬化を受ける前にこの部品から流れ落ちる若干量の未硬化光重合体22を含む。後硬化装置における光重合体21の硬化はSLAにおける硬化よりも安く迅速であるから、これは費用と時間を節約する事になる。また硬化をSLA中の形成ではなく後硬化処理中で実施した場合、歪（例えば曲げ）の一部が減少するので、精度と変形とによって好ましい。

第24図に図示のように、デザイン傾斜710はデザイン線810の場合よりも光重合体22と三次元部品30との境界が不連続になる。すなわち図示の各層対の層を重合体が流れる。例えば平均構造880において層712の中に残っている液体重合体は、三次元部品30が容器21から除去される際に空隙870を通して殆ど漏出する。従って、デザイン傾斜710の水平に対する角度711はMSAである。この角度711がき

らに減少すると表面のぬれを生じるからである。

第25図はM S A 711より小さい表面角度721を有するデザイン傾斜720を示す。この場合ぬれが予想される。実際に層724から出た液体は間隙726と空腔728とを通して漏出する。ビームプロファイルは形状730と732を示す事によってぬれを予測する。斜傾システム28がこれらの形状を表面角度721と比較して、表面角度721がM S A 以下であるかどうかを確定する事ができる。もしM S A 以下であれば、C A D データ発生装置が形状730と732との間のスキン720を硬化させてこのようなぬれを防止する。このような表面角度とパラメータとの関係を下記の式によって表す事ができる。

$$HSA = \arctan(2 * \text{層厚さ} / (\text{最大値} + \text{最小値}))$$

ここに、最大値は、下層上の境界によって作られた固化材料の最大値、また最小値は上層の上面から1層下レベルでの固化材料の値である。これらの値はビームプロファイル情報と既知の硬化深さとから予測する事ができるので、各パラメータセットについて所望のM S A を予測する事がで

きる。水平に対する傾斜角度がM S A より大であれば、この面が上向きであれ下向きであれ下側面についてある種の充填が必要となる。この種の充填を必要とする区域はニアフラット区域またはニアフラットスキンを必要とする区域と呼ばれる。M S A およびニアフラットスキンに関する他の情報は前記の特許第331,664号に記載されている。

ニアフラット境界がどのように作られるかに従って、他の重要な特性を前記の方法によって予測する事ができる。前記の特許第331,664号に記載の方法においては、下向きニアフラット区域は、三次元部品の上側構造の一部を作るために、またぬれ区域の充填のために使用される。この場合、充填がこの値を超える必要はないとしても、これらのニアフラット境界の形成はM S A 値を超える必要はない。どのような非垂直角度がこのような構造境界の製作に貢献するかを予測するためにビームプロファイルパラメータを使用する事ができる。表面角度（現在のC A D インタフェースの使用するようなそれぞれの表面三角形）は、ある限

-133-

度においてニアフラット下向き境界の形成が不要となる程度に急傾斜となる。

第5に、各単位体積の重合度を確定するために樹脂パラメータと共にビームプロファイル情報を使用する事ができる。そのため、露出量（すなわち与えられた材料中に吸収されたエネルギー）をこの体積中に誘発された重合度（例えばパーセント）と関連付けるまたは式を使用する。固化工程において使用されるそれぞれの波長に対応する吸収率の表または式を使用する事ができる。ビームプロファイルと表面露出量から、各単位体積がどの程度の露出を受けたかを知る事ができ、従って、特定の単位体積中の平均重合度などを確定する事ができる。平均重合の確定はすべての要素における重合度を合算または積分する事によって得られる。重合パラメータは隣接細胞中の重合度を比較する事によって確定される。このような重合度の確定は他の関連パラメータの確定の基礎と見なす事ができる。重合度は材料のガラス点に関連し、従って与えられた露出によって形成された

-134-

硬化深さと硬化幅に関連付けられる。このようにして数種の相異なる波長によって誘発された重合度を累積し、それぞれの単位体積についての正確な重合度を確定し、これから正確な硬化深さと硬化幅とを予測する事ができる。与えられた露出において各波長によって樹脂の中に誘発された重合度は各種の化学的方法、抽出または分光測光法によって確定する事ができる。露出露出および透過深さなどの確定が成された時、ビームプロファイル情報を使用して、正確な状態を知るために必要な確定および予測を成す事ができる。その他の種々のパラメータがこれらの予測に影響するので、これらの他の要素を一定に保持、または変換リストの中に記載しなければならぬ。これらのパラメータは、露出の実施される温度、樹脂中に吸収される重合度（従って樹脂を包囲するガス）、他の終止剤の存在、および使用される樹脂の特性を含む。

第6にビームプロファイルの対が使用は本発明における生産に関して優れた情報を与える。ビームプロファイルを使用しない第15図は硬さ

に因するレベルを示す。区域318、316および314は非常に硬いプラスチックであって区域84を横断して未知の偏延している。この生硬さは各単位体積によって受けられる種々の露出量に基づく相対測定値として使用する事ができる。この場合平均生硬さとは、すべての単位体積の露出量の合計を全体積で割った値と見なされる。これは同一の計算に基づいて成される相対重合量に極めて近似している。しかし単位体積中の特定の重合度に対応する絶対または相対生硬さを有する事が効果的である。ゲル点から完全固化点までの生硬さの変動は必ずしも直線的でないからである。このような生硬さと重合度の関係は前記の誤に記入するで、または適当な式によって表す事ができる。この方法によって、各単位体積について生硬さを確定し、これを積算して部分的に固化した材料の全体積パラメータを得る事ができ、また全体積について平均値を得る事ができる。生硬さは重合度の関数であるから、この方法（重合度と生硬さとの比較法）を使用して複数の被長による固化の

正確生硬さを確定する事ができる。この場合の単位体積当りの重合度を確定し、これを単位体積当りの特定の生硬さ（相対または絶対）と組合せる。樹脂を包圍するガスの化学組成（樹脂中に吸収されたガスと周囲のガスとが平衡状態にあると仮定する）は硬化パラメータに対して大きな作用を及ぼす。例えば酸は重合反応の禁止剤として作用する。酸は、遊離基が重合を誘発する前にこの遊離基を破壊するからである。また酸は重合過程の過早に終了させる事により、重合体分子鎖の平均分子量を低下させる。この分子量に対する作用は重合体特性に対して大きな影響を与える。他の実施例として、2種の類似の樹脂と被長が使用されその一方が窒素ガスと平衡状態にあり、他方が、空気と平衡状態にある場合に、窒素ガスと平衡した樹脂は低い離昇エネルギーを有し、下方の材料よりもはるかに低いレベルの露出でゲルを形成する。しかしこのゲルの生硬さははるかに低く、従って有効でない。これら別題の物体がそれぞれ対応のガスとの平衡状態において重合を完了させ

-137-

られると、得られたプラスチックの特性は相異なる結合構造の故に相違する。従って樹脂パラメータを確定する際に樹脂を使用する雰囲気ガスを考慮する事が重要である。生硬化部品と後硬化部品について相異なる硬化パラメータを得るため、相異なる雰囲気の使用は樹脂パラメータを変更する効果的な方法であろう。

第7に、ビームプロファイラーは、一定量の固化した材料の有する曲げ抵抗の少なくとも相対値を予測する機能を提供する。一般にこの固化材料は1本の線状硬化材料であるが、これは特定層の出張区域、または数層の固化材料の組合せとする事ができる。この曲げ抵抗は各単位体積の硬さに関連するが、その曲げ軸線からの距離によって測定されなければならない。

例えば図26図はビームプロファイル700を示す。このビームプロファイル700は2つの被長1と2から同等の出力および光強さを受ける。これらの被長の作動曲線は第1図に図示されている。

2によって区域314が形成されると同時に、図

-138-

い透過深さの被長2が区域770を形成する。さらに長い時間において、短い透過深さの被長2によって区域318が形成されると同時に、長い透過深さの被長1が区域772を2と共に形成する。区域318が形成されると同時に、長い透過深さの被長2が区域774を形成する。

ビームプロファイラーなしで本発明を実施する場合、種々の情報、予測値および制御値が失われる。非常に硬化した区域318、さらに硬化した区域316および最も硬化した区域314などの硬化区域の幅と深さを確定する事が困難または不可能になる。ビームプロファイル700は、非常に硬化して区域318が区域772ほど広くない事を示す。

第8に、ビームプロファイラーを使用して、層間の適当な接着を得るために必要）なオーバー硬化を予測する事ができる。層間の適当な接着には、1つの層の底部の固化材料と前の層の上層の固化材料とのある程度の接合を必要とする。前の層に固着するためには一定量の材料が過度に重合されなければならない。すなわち前の層上部が

完全に重合し、前の層と現在の層との接合を保証するためにはオーバー硬化が必要である。与えられた樹脂と形成条件（例えば雰囲気ガスの温度と化学組成）に対して、1つの単位体積との接着を保証するため、1つの単位体積（さきに硬化した体積）の重合度と第2体積に必要な重合度とに関する表を作る事が可能である。あるいは、2つの面（一方の面がさきに硬化する）間の接着を保証する最大露出量の表を作る事も可能である。ビームプロファイラーは前の層の上部と現在の層の下部の重合度および露出度を決定し予測する事ができるので、前記の表をビームプロファイル情報と共に使用して、必要なオーバー硬化を決定し設定する事ができる。これらの表は与えられた樹脂と波長についてのみ作る必要がある。従って、樹脂がユーザに供給された時にこのような表を使用する事により、所望のオーバー硬化を決定するために心配する必要がなくなる。またこの技術はビームプロファイラーを使用する事により三次元部品の製造工程をさらに自動化する事ができ、従って

-141-

事ができる。この関連付けから多くの重要な硬化特性を決定する事ができる。また前記のように、ビームプロファイラーは立体平版技術の実施に際して他の重要な役割を果たす事ができる。これは、ユーザの介入なしで所望の形成パラメータを自動的に設定し更新する機能、多重波長をそれぞれ単独で使用する場合に波長の自動的切り替え機能、波長同時にまたは単独で使用する際に相異なる波長間のエネルギー比率を制御する機能および遮光剤に距離の発生を警告する機能を含む。波長間の切り替え機能はビームプロファイル情報および形成される物体に関する既知の情報の分析によって決定された形成パラメータに対応してコンピュータによって実施される。多重波長ビームの露出により、またはそれぞれ単一波長露出から出る光学通路の中にビームを送る事により、または所望の波長を生じるように放射線発生器を切り替える事によって各波長が単独で得られる。各波長に対応するエネルギーの制御は、露出によって、あるいはそれぞれの発生源から出る2本のビームを組合

-143-

立体平版技術を押しボタン式（ターンキー式）プロトタイプング/モデリングシステムにさらに一歩近づける。

第9に、前記のようにビームプロファイラーは種々の硬化パラメータを決定するために単一波長または多重波長を使用する事ができる。多重波長を使用する場合、ビームプロファイラーが各波長単独の出力/光強さを分析する事が好ましい。このような各波長についての分析は、種々のフィルタを使用してビームプロファイラーそのものにおいてまたはビーム通路に拾った適当な点に配置してビームを遮断する事によって実施する事ができる。走査する波長のみがビームの中に存在するようにフィルタを使用する事が好ましい。しかしこれは必ずしも実施できないので、後のアプローチとして、既知の透過度を有する種々のフィルタを使用しまたは使用しないで多数の走査を実施し、得られたデータとフィルタの透過特性から各波長の出力およびプロファイルを設定する事ができる。このような決定値を種々の樹脂特性と関連付ける

-142-

わけ各発生源の出力を適当に調整する事によって実施する事ができる。

要約すれば、硬化パラメータを予測しまたあるいは制御するためにビームプロファイル情報（樹脂パラメータと共に）使用する種々のアプローチおよびその利点を説明したが、その一部を下記に列挙する。

1) 各波長についてビームプロファイルを設定する機能。

2) 各種の物理的、光学的、および化学的テストに基づく樹脂パラメータの初期評価以外は、（ビームプロファイルおよび既知の樹脂特性に基づいて）パンジョウ・トップまたは類似部材の必要をなくす機能。

3) 各波長の特定の出力比率を保証するようにフィードバックループを形成するため、適当な制御機構の組み合わせ。

4) 硬化深さの予測機能。

5) 硬化幅の予測機能。

6) 平均重合量の予測機能。

-144-

- 7) 固化材料の硬さの予測機能。
- 8) 固化材料の曲げモーメント抵抗力の予測機能。
- 9) 所要M S Aの予測機能。
- 10) 最良スキンプイルベクトル間隔の予測機能。
- 11) 2層間の(特定量の)接着を生じるに必要なオーバーレイの予測機能。
- 12) ビーム偏補正パラメータの選択機能。

前記の一次的予測を成すためには、2種類の情報が必要である: 1) 樹脂の固化に使用される各波長に対する樹脂特性のリスト、および2) ビームプロファイル情報。高次の予測は追加的樹脂特性およびさらに複雑な放射線/樹脂相互干渉理論を使用する。前記の予測を成すに必要な樹脂特性は下記である: 1) 各波長の透過率、2) 各波長の最低臨界露出、3) 各波長の効率、4) 各波長の種々の露出に対する重合パーセント、5) ゲル化に必要な重合パーセント、6) 先にある程度重合した材料とある温度の接着を策定するのに必要な許容差含量範囲、および7) 種々の重合度

に対する透過率パラメータ。温度は一般に制御されるパラメータであるが、温度が変動されるべき場合には、これを考慮しなければならない。前記のパラメータの代わりに、その他種々のパラメータを使用する事ができる。各樹脂ロットが製造される際にこれらのパラメータを測定する事ができ、あるいは各パラメータの値が特定範囲内にある事を確認するため各樹脂ロットを品質検査する事ができる。すべての必要予測を成すために、樹脂のパラメータリストを備え、これを用いれた装置の特定のビームプロファイル情報とを結合する事ができる。これらの予測はさらに形成工程を自動化するために使用する事ができる。これらの予測は、前記の(2)に記載のように、特定の特性を有する三次元部品の形成に必要な種々のパラメータを制御するために使用する事ができる。例えば、ビームを遮断しまたは遮断しないように、数種のフィルタバンクをコンピュータ制御する事ができる。特定の波長を近似値だけ精度させるために各フィルタが使用される。つぎにこれらのフィルタ

-145-

をビームプロファイルと共に使用して、存在する種々の波長が所望比率範囲の出力およびビータ出力を有する事を確認する(これは多重波長実施態様の1つ)。これらのビームプロファイル予測を単一波長および多重波長用途に使用することができる。本発明は前記の実施態様に限定されるものでなく、当業者には他の実施態様も明白であろう。

図面の簡単な説明

第1図は本発明の立体平板装置(SLA)のブロックダイヤグラムおよび断面図、第2図はSLAの光重合体容器的断面図、第3図は小量の露出後の第2図の断面図、第4図はさらに露出後の第3図の断面図、第5図はさらに露出後の第4図の断面図、第6図はSLA使用時の硬化深さと表面露出との作動曲線、第7図は市販のレーザビームの断面図または「プロファイル」、第8図は第7図のS-S線に沿った断面図、第9図は第8図の棒グラフと第3図の硬化した光重合体の拡大断面図、第10図は第8図の棒グラフと第4図の硬

-146-

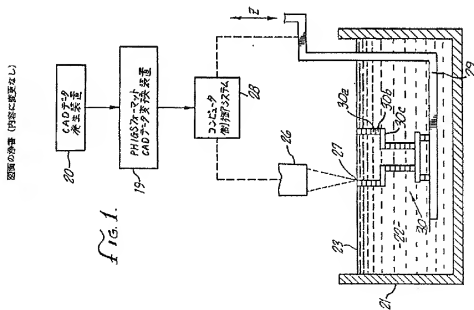
化した光重合体の拡大断面図、第11図は第8図の棒グラフと第5図の硬化した光重合体の拡大断面図、第12図は光重合体後の容器的表面に沿って特定のレーザビームを移動させた露出パターンであって、第12a図は水平移動、第12b図は曲直移動、また第12c図は対角線移動、第13図は光重合体の光吸収と波長との関係を示すグラフ、第14図は光重合体における2種の波長のそれぞれ作動曲線、第15図は2つの透過率で硬化した光重合体の断面図、第16a図は「バンジョウ・トップ」の平面図、第16b図はバンジョウ・トップの断面図、第17図はSLA中の化学反応のブロックダイヤグラム、第18図は2種の光重合開始剤の波長とエネルギー吸収のグラフ、第19図は2種の光重合開始剤の波長と吸収および有効重合との関係を示すグラフ、第20図は第8図の棒グラフと第3図の硬化した光重合体の拡大断面図、SLA中の光重合体を交換するシステムの断面図、第21図はSLA中の光重合体を交換する他のシステムの断面図、第22図はSLA中の光重合体を交換するさらに他のシステムの

断面図。第23図はS L A中において作製された三次元部品の垂直縁部分の4構造を示す概略図、第24図はS L A中において作製された三次元部品の傾斜縁部分の4構造を示す概略図、第25図は第24図より急傾斜縁を示す概略図、また第26図はビームプロファイルに対応する硬化深さを示す図である。

20...CADデータ発生装置、21...容器、22...光重合体、23...加工面、26...光源、30...三次元部品、30a,30b,30c...三次元部品の層。

出版人代理人 佐 藤 一 雄

-140-



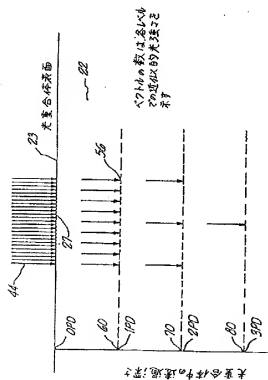
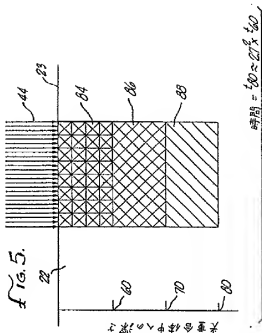
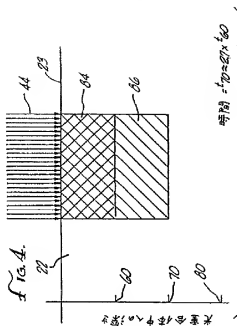
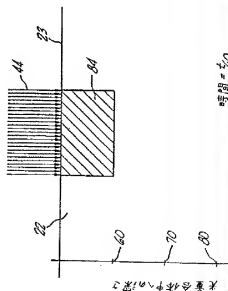
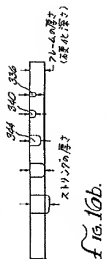
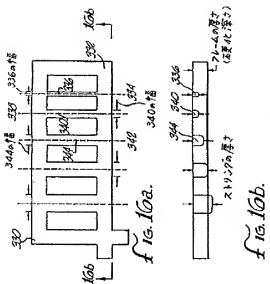
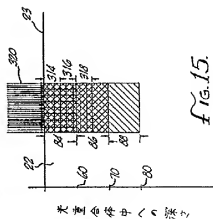
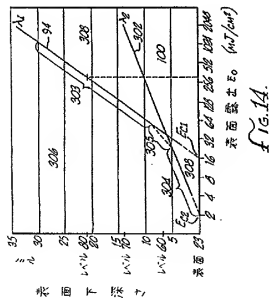
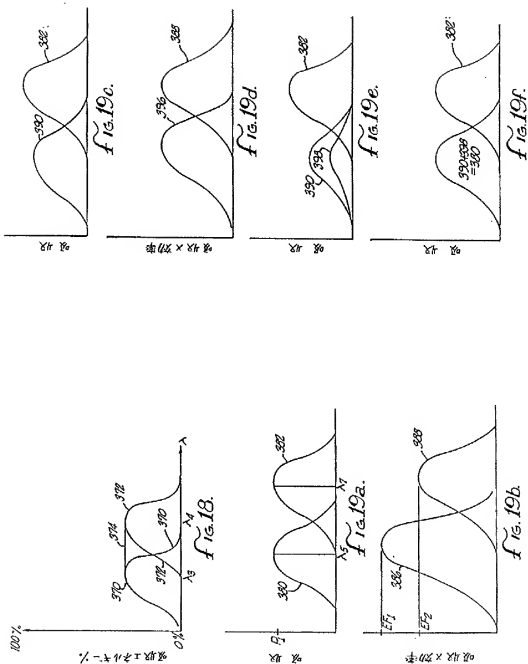


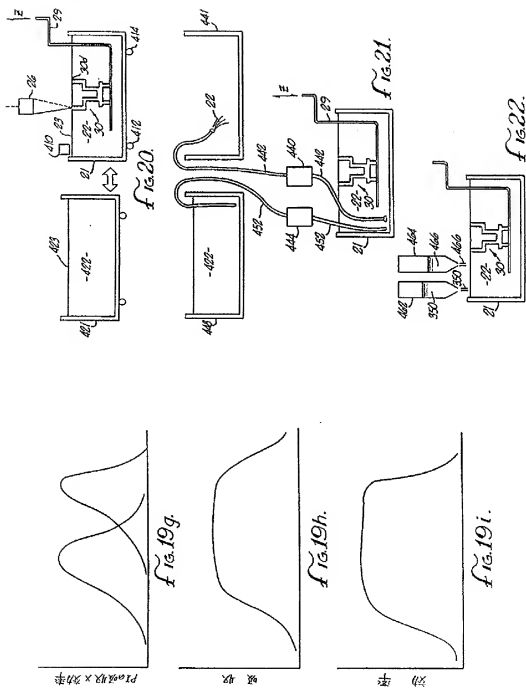
Fig. 2.

Fig. 3.









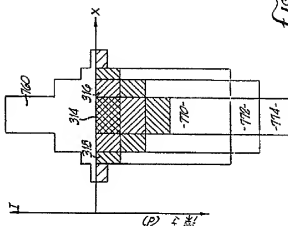
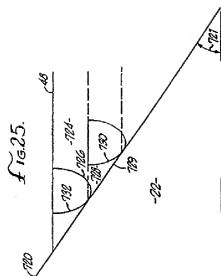


Fig. 26.

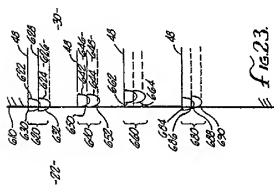


Fig. 23.

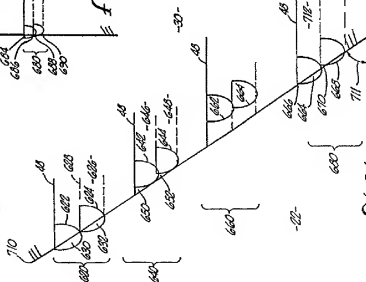


Fig. 24.

手 続 補 正 書

平成 3 年 1 月 18 日

特許庁長官

池 松 敏 殿



1 事件の表示

平成 2 年特許願第 291647 号

2 発明の名称

様々な透過率とビームプロファイルを使用する立体平板装置によって三次元物体を複製するシステム

3 補正をする者

事件との関係 特許出願人

スリーディー システムズ、
インコーポレーテッド

4 代理人

〒東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
【電話東京(3211)2321 大代表

0426 井理士 俊 隆 一



5 補正により追加する請求項の数 45

6 補正の対象

明細書の「特許請求の範囲」の欄

7 補正の内容

明細書の特許請求の範囲を別紙の通り訂正する。

式 式 式
が 中 中 中
印 印 印

- 1 -

タは前記刺激性放射線の通路中に出入自在である事の特徴とする請求項2に記載の装置。

4. 前記放射源は、少なくとも2つの異なる波長のレーザの組合わせを含む事の特徴とする請求項1に記載の装置。

5. 前記硬化性物質に対して、前記個別の波長の全部ではなく、その少なくともその1つを選択的に放射する選択的放射手段を含む事の特徴とする請求項4に記載の装置。

6. 前記選択的放射手段は、前記硬化性物質を放射するため、前記レーザの1つからレーザ光線を選択的に反射する第1位置と、前記レーザの他のレーザから選択的にレーザ光線を反射する第2位置との間を回転自在の軸を含む事の特徴とする請求項5に記載の装置。

7. 前記放射源は、前記の少なくとも2つの別個の波長で放射する単一のレーザを含む事の特徴とする請求項1に記載の装置。

8. 前記レーザはアルゴンイオンレーザである事の特徴とする請求項7に記載の装置。

特許請求の範囲

1. 刺激性放射線を照射して前記の刺激性放射線に対応して硬化する順次の材料層を形成する事によって三次元物体を複製する立体平板装置において、

硬化性材料中への相異なる透過深さを有する少なくとも2個の別個の波長を同時に含む刺激性放射線源と、

前記三次元物体の第1層に面するプラットフォームと、

前記プラットフォームの高さを調節するためのプラットフォーム制御装置とを含む事の特徴とする立体平板装置。

2. 前記硬化性物質に対して、前記個別の波長の全部ではなく、その少なくともその1つを選択的に放射する選択的放射手段を含む事の特徴とする請求項1に記載の装置。

3. 前記の選択的放射手段は前記の硬化性材料を放射するための前記の個別の波長の1つのみを通過させる1つのフィルタを含み、前記フィル

- 1 -

9. 前記のアルゴンイオンレーザは主として2つの別個の波長で放射し、このレーザの寿命中変動する出力レベルにおいて前記の2つの別個の波長を発生する事の特徴とする請求項8に記載の装置。

10. 前記の2つの波長を個別にプロファイルするためのビームプロファイラを含む事の特徴とする請求項9に記載の装置。

11. 前記の選択的放射手段は前記の硬化性物質を放射するため前記の個別の波長の1つのみを通過させる1つのフィルタを含み、前記フィルタは前記レーザビームの中に出入自在である事の特徴とする請求項7に記載の装置。

12. 前記放射線源は、プリズム屈折装置を備えたレーザを含み、この屈折装置は前記レーザビームに対する角度は前記少なくとも2つの別個の波長のいずれか所望のものを選択的に発生するように調節可能である事の特徴とする請求項11に記載の装置。

13. 順次の層層を選択的に硬化する事によ

- 3 -

- 2 -

って物体を形成する方法において、

前記物体の1層を形成する際の少なくとも1つの透過深さの最適値を計算する段階と、

前記の最適値を得るため、刺激性放射線の波長とこの放射線に対して硬化する物質との組合せを選定する段階と、

前記物質の表面に対して前記刺激性放射線を放射する事によって前記の組合せを実施する段階とを含む方法。

14. 前記の最適値は、前記層の予定厚さに對して前記物体の形成速度を最大限にし、解像力を最大限にし、前記物体の硬さを最大限にし、歪を最小限しまた有害なプリントスルーを最小限にする値として計算される事の特徴とする請求項13に記載の方法。

15. 前記の計算段階は前記物体の設計に基づいて自動的に実施される事の特徴とする請求項14に記載の方法。

16. 物体の層を形成する立体平板装置において、

ビームに感応して硬化する物質の容器の表面に對して放射されるビームを放出するマルチラインレーザを含む、

前記ビームの第1ラインは前記層の厚さの10%乃至25%の範囲の前記物質中への第1透過深さを有し、また

前記ビームの第2ラインは前記層の厚さの30%乃至40%の範囲の第2透過深さを有する事の特徴とする立体平板装置。

17. レーザに對して硬化する物質の物体を形成する方法において、

複数の波長でレーザ光線を放射するレーザを選定する段階と、

前記波長のそれぞれの値を確定する段階と、
前記波長のそれぞれが前記物質の中への實質的に同一の透過深さを有するように前記物質を選定する段階と、

作動曲線を描く段階と、
前記作動曲線によって確定された露出をもって前記レーザを前記物質に對して選択的に放射して

— 4 —

前記物体を形成する段階とを含む方法。

18. 立体平板技術をもって複数層に形成された硬化性物質の物体の設計線部分を近似する方法において、

ビームをプロファイルする段階と、
前記設計線の近くにおいて前記ビームを追跡する構造を選択する段階と、

前記追跡構造と前記ビームのプロファイルに應じて得られた情報とに基づいて前記の線部分近くにおいて前記硬化性物質に對する前記ビームの露出を制御する段階とを含む方法。

19. 最小表面角度を計算する段階と、
前記最小表面角度を前記設計線部分の角度と比較する段階とを含む、

前記の最小表面角度が前記角度より大であれば、前記追跡のスケーリング追加段階を含む事の特徴とする請求項18に記載の方法。

20. 立体平板装置中の硬化深さを予測する方法において、
作動曲線を形成するためにバンジョウ・トップ

を形成し分析する段階と、
前記ビームの放射線の寿命中、ビームを繰り返しプロファイルする段階と、

前記放射線源の相対的出力損失を確定する段階と、また前記相対的出力損失に對して前記作動曲線を修正する段階とを含む方法。

21. 前記ビームは複数の波長を有し、前記の形成段階、分析段階、前記のプロファイル段階、前記の確定段階および前記の修正段階はすべて前記複数の波長のそれぞれについて個別に実施される事の特徴とする請求項20に記載の方法。

22. 立体平板装置において2層間の所望の接合を得るに必要なオーバー露出を予測する方法において、

上層の第1点と下層の第2点との間の所望の量なり合い量を確定する段階と、

前記の立体平板装置において使用されるビームをプロファイルする段階と、

前記のプロファイル段階にもとづいて前記の第1点における硬化部分の形状を予測する段階と、

— 5 —

— 6 —

— 7 —

前記の所望の量なり合い量を得るに必要な露出を予測するため、前記形状を前記上層の厚さと比較する段階を含む方法。

23. 刺激性放射線によって造定された物質の中に複数の透過深さを生じるように、前記刺激性放射線をこの放射線に感応して硬化する物質と合致させる段階と、

前記刺激性放射線を前記の測定された物質の少なくとも1層に対して選択的に放射する段階とを含む物体の形成法。

24. 前記複数の透過深さを予測する追加段階を含む事の特徴とする請求項21に記載の方法。

25. 所望の速度、硬さおよび精度にもとづいて前記複数の透過深さを測定する事の特徴とする請求項22に記載の装置。

26. 前記予測段階は前記刺激性放射線の光強さを測定する段階を含む事の特徴とする請求項22に記載の方法。

27. 前記予測段階はテスト用三次元部品の作製と測定と共に実施される事の特徴とする請求

項22に記載の方法。

28. 形成される物体の中に複数の透過深さを使用する追加段階を含む事の特徴とする請求項21に記載の方法。

29. 前記刺激性放射線は、アルゴンイオンレーザによって複数の紫外線波長で放出される事の特徴とする請求項26に記載の方法。

30. 前記の測定された物質を変更して透過深さを変更する追加段階を含む事の特徴とする請求項26に記載の方法。

31. 前記の複数の透過深さが同時に使用される事の特徴とする請求項26に記載の方法。

32. 前記の複数の透過深さがそれぞれ単独に使用される事の特徴とする請求項26に記載の方法。

33. 物体を露出に形成するため刺激性放射線を放射する放射手段と、

前記刺激性放射線に感応する硬化性物質とを含み、前記物質を自動的に変更して前記放射線の複数の透過深さを生じる事の特徴とする立体平板装

— 8 —

置。

34. 前記物質は取り替えによって変更される事の特徴とする請求項33に記載の方法。

35. 前記物質は塗層によって変更される事の特徴とする請求項33に記載の方法。

36. 硬化性物質中への透過深さにもとづいて複数の刺激性放射線源の1つを測定する段階と、前記の測定された刺激性放射線を前記の硬化性物質に対して所定パターンで放射して前記物体の第1部分を形成する段階と、

相異なる透過深さにもとづいて前記複数の刺激性放射線の他の刺激性放射線を測定する段階と、

前記の他の刺激性放射線を前記の硬化性物質に対して所定パターンで放射して前記物体の第2部分を形成する段階とを含む複数層から成る物体の形成方法。

37. 立体平板技術によって形成された複数層から成る物体の曲げ歪を減少させる方法において、

層の1点上に多重パスを通して、まず前記層の

— 9 —

上部を形成し、第1刺激性放射線がこの刺激性放射線に感応する第1硬化性物質の中に比較的短い透過深さを生じる段階と、

前記層の前記点の上に少なくとも1回のパスを通して、少なくとも端昇露出をもって前記層の下部を形成し、第2刺激性放射線がこの刺激性放射線に感応する第2硬化性物質の中に比較的長い透過深さを生じる段階とを含む事の特徴とする方法。

38. 前記第1刺激性放射線と前記第2刺激性放射線はそれぞれ同一の波長を有する事の特徴とする請求項37に記載の方法。

39. 前記第1物質は前記第2物質から変更されない事の特徴とする請求項37に記載の方法。

40. 前記比較的短い透過深さは前記層の厚さの15%乃至25%の第1範囲内にあり、

前記比較的長い透過深さは前記層の厚さの30%乃至40%の第2範囲内にある事の特徴とする請求項37に記載の方法。

41. 刺激性放射線に感応して硬化する物質に前記刺激性放射線を放射する段階と、

— 10 —

— 283 —

— 11 —

他の硬化深さを得るため、前記物質を変化させる段階と、

前記刺激性放射線を前記の変化された物質に放射する段階とを含む複数層から成る物体の形成法。

42. マルチラインビームのプロファイル装置において、

前記マルチラインビームの1ラインを個別に減速する事のできるフィルタと、

前記1ラインを個別に放射できるように配置されたビームプロファイラとを含み、

前記装置は前記マルチラインビームの1ラインを個別にプロファイルする事ができる事の特徴とするプロファイル装置。

43. 前記マルチラインビームの第2ラインを個別に減速する事のできる第2フィルタを含む事の特徴とする請求項42に記載の装置。

44. 前記フィルタと前記第2フィルタはいずれも自動的に前記マルチラインレーザビームの中に入らせられる事の特徴とする請求項43に記載の装置。

45. 前記フィルタは、前記マルチラインレーザビームが自動的に放射されて前記1ラインが感光板まで通過させられる箇所に固定的に配置され、

前記第2フィルタは、前記マルチラインレーザビームが自動的に放射されて前記第2ラインが感光板まで通過させられる箇所に固定的に配置される事の特徴とする請求項43に記載の装置。

46. マルチラインビームの第1ラインを減速する段階と、

前記第1ラインをビームプロファイラの感光板に放射する段階と、

前記マルチラインレーザビームの第2ラインを減速する段階と、

前記第2ラインをビームプロファイラの感光板に放射する段階とを含む事の特徴とするマルチラインビームのプロファイル法。

- 12 -

- 13 -

手 続 補 正 書 (方式)

平成 3 年 3 月 13 日

特許庁長官 樋 松 敏 郎



1 事件の表示

平成 2 年特許願書 201047 号

2 発明の名称

種々の透過深さとビームプロファイルを使用する光作硬化装置によって三次元物体を複製するシステム

3 補正をする者

事件との関係 特許出願人

スリーディー・システムズ、
インコーポレーテッド

4 代理人 (郵便番号 100)

東京都千代田区九の内三丁目4番3号
(電話東京 (3211)2321 大代表)

5428 弁護士 佐 藤 一



5 補正命令の日付

発送日 平成 3 年 2 月 12 日

6 補正の対象

審査の出願人の氏、委任状及び図面

7 補正の内容

1. 封紙の添付
2. 図面の添付 (内容に変更なし)



方 印 (3)